

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL  
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA  
ESCUELA DE POSGRADO

Consideraciones epidemiológicas para el manejo de la Marchitez por  
*Fusarium* (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*) del banano en la región  
central del Perú

Por

Carlos Hugo Román Jerí

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado  
como requisito para optar por el grado de

*Magister Scientiae* en Agricultura Ecológica

Turrialba, Costa Rica, 2012

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del estudiante, como requisito parcial para optar por el grado de

**MAGISTER SCIENTIAE EN AGRICULTURA ECOLÓGICA**

**FIRMANTES:**



Miguel Dita, Ph.D.  
**Codirector de tesis**

Charles Staver, Ph.D.  
**Codirector de tesis**



Jacques Avelino, Ph.D.  
**Miembro Comité Consejero**




Fernando Casanoves, Ph.D.  
**Miembro Comité Consejero**



Ana Tapia, Ph.D.  
**Miembro Comité Consejero**



Thomas Dormody, Ph.D. / Francisco Jiménez, Dr. Sc.  
**Decano / Vicedecano de la Escuela de Posgrado**



Carlos Hugo Román Jeri  
**Candidato**

## DEDICATORIA

A **Dios** que siempre me brinda fuerzas y sabiduría.

A **mis padres Amilcar Román** por su apoyo incondicional y sus valiosos consejos y a mi querida **madre Rosa Jerí**, que siempre me ilumina desde el cielo.

A mis tesoros, **mi esposa Paola Santivañez** e hija **Valentina de Jesús** por estar siempre a mi lado en los mejores momentos de mi vida.

A mi familia en especial a la **doñi Jeanette, Vanessa, Christhian, Paty, Pedro** y a mis queridos sobrinos(a) **Arianita** y **Juan Dieguito**, por estar siempre pendiente en mi formación profesional.

A mis queridos hermanos José, Teresa, Amilcar y Robeto, quienes siguen dándome fuerza donde esten.

## AGRADECIMIENTOS

A **Bioversity International**, por el apoyo financiero en los estudios de la maestría en el CATIE y en la investigación realizada en el Perú.

**En especial a mi maestro y guía al Dr. Miguel Angel Dita Rodriguez**, por sus valiosas orientaciones, el tiempo, dedicación y entrega al presente estudio de investigación y en mi formación profesional.

**Al Dr. Charles Staver, por el financiamiento** y depositar su confianza en mi persona para fortalecer mis capacidades en la maestría en el CATIE y en el estudio de la presente investigación en el Perú.

**Al Dr. Jacques Avelino**, por sus valiosos consejos epidemiológicos y acertados en la presente investigación.

**Al Dr. Fernando Casanoves**, por sus valiosos consejos estadísticos que dieron realce a la investigación, y en especial a su equipo Sergio Vilchez y Eduardo Corrales.

A la **Ms. Ana Tapia**, por sus valiosos consejos durante la investigación.

A mis compañeros de la Maestría de Agricultura Ecológica, por compartir la pizarra y habernos quemado la pestaña en esta travesía a **Clifford, Allan, Nelly, Ana, Meme, Yuriza, Nathasa**, y a toda mi promoción 2011-2012 del CATIE.

A todos mis maestros de la maestría, quienes han sido valiosos en mi fortalecimiento de mis capacidades, en especial a **Gabriela Soto, Elias de Melo**

**A mis amigos Ing. Cesar Aguilar, Juan Carlos Rivas, Lucho Sinche, Juan Yalico** por su valioso apoyo en el transcurso de la investigación y a la comunidad Mariscal Castilla, por acogerme y darme todo el apoyo en el transcurso de mi investigación, en el distrito de San Luís de Shuaro.

A todos mis compañeros(as) de Bioversity International quienes siempre me alentaron y me dieron excelentes consejos a **Nancy, David, Karol, Daniela, Cindy, Oscar, Pablo y Allan**

A toda la familia CATIANA, por brindarme una excelente formación académica y por cobijarme en este periodo tan importante en mi vida profesional.

## BIOGRAFÍA

El autor **Carlos Hugo Román Jeri**, nació en la ciudad de Huancayo, departamento Junín, Perú, el día 17 de Enero de 1975, sus estudios primaria y secundaria lo realizó en el Colegio Nacional “Santa Isabel”, en los años 1980 al 1991 y superior en la “Universidad Nacional del Centro del Perú”, en la facultad de Agronomía, egresando en el año 1997. Seguidamente obteniendo una beca para la realización de la tesis con el Centro Internacional de la Papa (CIP), realizando sus primeros trabajos de investigación. Posteriormente iniciando en 1999 sus primeras experiencias profesionales en el Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA), donde laboro 11 años consecutivos. En ese período apoyó a muchas instituciones en el fortalecimiento de su organización, de capacidades en los cultivos importantes como banano, café, cítricos y cacao, especialmente en el manejo y control de plagas. También se desempeñó como instructor de formador de facilitadores en Escuela de Campo de Agricultores durante los años 2006 hasta la fecha formando a profesionales de las instituciones como ICT de Tingo María, Cooperativas Agrarias de Café como San Juan de Oro de Puno, Naranjillo de Tingo María, Perené de Chanchamayo y asesorando instituciones públicas y privadas como CAFÉ PERÚ, Municipalidad de San Luís de Shuaro, actualmente terminó la Maestría en Agricultura Ecológica en el Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica, de la promoción 2011-2012.

# CONTENIDO

DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTOS .....	IV
BIOGRAFÍA.....	V
CONTENIDO .....	VI
RESUMEN .....	X
SUMMARY.....	XII
ÍNDICE DE CUADROS .....	XIV
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XVI
LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS.....	XXII
1     INTRODUCCIÓN .....	1
1.1     Justificación e importancia .....	3
1.2     Objetivos del estudio .....	4
1.2.1 <i>Objetivo general</i> .....	4
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	5
2     MARCO CONCEPTUAL .....	7
2.1     Importancia de los bananos a nivel mundial.....	7
2.2     Importancia del cultivo en el Perú .....	8
2.3     Origen y clasificación de los bananos.....	10
2.4     Condiciones climáticas para el desarrollo del cultivo de banano .....	13
2.5     Plagas y enfermedades del cultivo .....	13
2.6     La Marchitez por Fusarium.....	15
2.6.1 <i>Historia, diseminación e importancia de la enfermedad</i> .....	15
2.6.2 <i>Agente causal</i> .....	16
2.6.3 <i>Biología de Fusarium oxysporum f. sp. cubense</i> .....	16
2.6.4 <i>Síntomas de la enfermedad</i> .....	19
2.7     Epidemiología de la enfermedad .....	21
2.7.1 <i>Dispersión en material vegetal</i> .....	22
2.7.2 <i>Dispersión a través de suelo</i> .....	23

2.7.3	<i>Dispersión a través del agua</i> .....	23
2.8	Estrategias de manejo de la enfermedad.....	23
3	MATERIALES Y MÉTODOS .....	25
3.1	Ubicación y descripción de la zona de estudio .....	25
3.2	Descripción general del proceso metodológico .....	28
3.3	Metodología para el objetivo I.....	30
3.3.1	<i>Caracterización de los sistemas de producción en fincas productoras de banano en el distrito de San Luís de Shuaro, provincia de Chanchamayo, Perú</i> .....	30
3.3.2	<i>Selección de las fincas</i> .....	30
3.3.3	<i>Encuesta a las fincas</i> .....	31
3.4	Metodología del objetivo II .....	33
3.4.1	<i>Estudio de la intensidad de la Marchitez por Fusarium en bananos en fincas del Distrito San Luís de Shuaro y factores asociados al desarrollo de la enfermedad</i> .....	33
3.4.2	<i>Evaluación de la intensidad de la Marchitez por Fusarium del banano</i> .....	35
3.4.3	<i>Evaluación de variables asociadas al desarrollo de la enfermedad</i> .....	36
3.4.3.1	Densidad de plantas por hectárea .....	37
3.4.3.2	Porcentaje de sombra.....	38
3.4.3.3	Evaluación de la acidez del suelo (pH) .....	38
3.4.3.4	Inclinación de la pendiente y orientación del vértice .....	39
3.4.3.5	Indicadores de calidad de suelo y salud del cultivo .....	39
3.5	Metodología para el objetivo III .....	40
3.5.1	<i>Diseño de estrategias de manejo de la Marchitez por Fusarium en banano en fincas del Distrito San Luís de Shuaro</i> .....	40
3.6	Compilación y análisis de datos meteorológicos del Distrito de San Luís de Shuaro, Departamento Junín, Perú.....	41
3.7	Análisis de datos .....	41
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	45
4.1	Caracterización de los sistemas de producción en fincas productoras de banano en el distrito de San Luís de Shuaro, provincia de Chanchamayo, Perú .....	45
4.1.1	<i>Selección de fincas y características del sistema de producción</i> .....	45
4.1.2	<i>Variedades utilizadas</i> .....	47
4.1.3	<i>Caracterización de las prácticas agronómicas en el cultivo de banano</i> .....	50

4.1.4	<i>Obtención de material vegetal semilla en las fincas</i> .....	52
4.1.5	<i>Plagas y enfermedades</i> .....	55
4.1.6	<i>La Marchitez por Fusarium</i> .....	58
4.1.7	<i>Susceptibilidad de variedades de banano presentes en el distrito San Luís de Shuaro a la Marchitez por Fusarium</i> .....	63
4.1.8	<i>Prácticas para el manejo de la Marchitez por Fusarium</i> .....	65
4.1.9	<i>Clasificación de productores con base en prácticas de manejo de la Marchitez por Fusarium y características de los sistemas de producción</i> .....	73
4.1.10	<i>Caracterización de los sistemas de producción de banano con base a los indicadores de calidad de suelo y salud del cultivo</i> .....	77
4.2	<i>Diagnóstico de la Marchitez por Fusarium en bananos en el distrito de San Luís de Shuaro, provincia de Chanchamayo, Perú</i> .....	82
4.2.1	<i>Intensidad y distribución de la Marchitez por Fusarium en bananos en el distrito</i> 82	
4.2.2	<i>Factores agroecológicos y/o manejo, asociados con el desarrollo, diseminación y distribución de la enfermedad</i> .....	90
4.2.3	<i>Factores relacionados con la dispersión e intensidad de la Marchitez por Fusarium del banano en fincas del Distrito San Luís de Shuaro, Perú</i> .....	95
4.2.4	<i>Tetraedro de la Marchitez por Fusarium</i> .....	96
4.3	<i>Diseño de estrategias de manejo integrado de la Marchitez por Fusarium en bananos</i> 105	
4.3.1	<i>Puntos débiles de los sistemas de producción que están contribuyendo con el aumento de la enfermedad</i> .....	105
4.3.1.1	<i>Conocimiento sobre la enfermedad</i> .....	105
4.3.1.2	<i>Variedad</i> .....	106
4.3.1.3	<i>Topografía del terreno y manejo de suelo</i> .....	106
4.3.1.4	<i>Manejo del cultivo</i> .....	107
4.3.1.5	<i>Manejo fitosanitario</i> .....	109
4.3.1.6	<i>Sistema de producción</i> .....	110
4.3.2	<i>Prácticas de manejo integrado de la marchitez por Fusarium</i> .....	110
4.3.3	<i>Elementos que soportan un análisis de riesgo de la enfermedad en la región</i> ..	117
5	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	123



5.1	Conclusiones .....	123
5.2	Recomendaciones .....	124
6	BIBLIOGRAFÍA .....	127
	ANEXOS .....	145

## RESUMEN

En el Perú se cultivan alrededor de 155.718 ha de banano y plátano (conocido en el país como plátano). En el Distrito de San Luís de Shuaro, el cultivo juega un papel fundamental tanto en la seguridad alimentaria como en la generación de ingresos. En los últimos años las variedades de banano cultivadas en el distrito han sido fuertemente atacadas por *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc), agente causal de la Marchitez por Fusarium (también conocida como Mal de Panamá). A pesar de la importancia del cultivo en la región y de las pérdidas causadas por la enfermedad hasta el momento no se habían realizado estudios sobre los sistemas de producción de la zona, variedades presentes, grados de afectación de la enfermedad y factores epidemiológicos asociados a la misma. Este estudio tuvo como objetivo realizar un diagnóstico de la situación actual de la Marchitez por Fusarium (MF) en el distrito de San Luís de Shuaro, provincia de Chanchamayo en la zona para generar informaciones que fundamenten estrategias de manejo integrado de la enfermedad de acuerdo a los sistemas de producción presentes en la zona. Inicialmente 149 fincas fueron evaluadas usando diferentes parámetros para identificar los sistemas de producción en función del arreglo espacial de los cultivos, variedad, prácticas de manejo, incidencia de plagas y enfermedades con énfasis en MF. Con base a ésta información se seleccionaron 76 fincas (60 con MF y 16 libres de MF) para evaluar la distribución, la incidencia y la severidad de la MF así como los factores que podrían estar relacionados con la diseminación, distribución y desarrollo de la enfermedad. Se identificaron ocho variedades de banano y plátanos [Isla (AAB), Seda (AAA) Morado (AAB), Palillo (AAB), Bizcocho (AA), Manzano (AAB), Largo (AAB) y Bellaco (AAB)] distribuidas en cuatro sistemas de producción [Bananos en Monocultivo (BM), Bananos con Cítricos (BCT), Bananos con Café (BCF) y Bananos con árboles y (BSAF)] distribuidos desde los 700 msnm hasta los 1700 msnm. La variedad Isla predominó seguida por ‘Seda’. ‘Isla’ está altamente asociada a sistemas de monocultivo y Seda se encuentra mayormente asociada con árboles en SAF. El resto de las variedades se cultivan mezcladas, fundamentalmente, en SAF.

Seis variedades (Isla, Seda, Bizcocho, Morado, Manzano, Palillo), fueron encontradas afectadas por MF, siendo que el reporte de MF en Bizcocho y Morado constituye nuevos reportes de la enfermedad en estas variedades en la región. La incidencia de MF varió de

0,15% hasta 19,74%, siendo los mayores valores encontrados en fincas plantadas con la variedad Isla en BM (>5%) y los menores en fincas con mezclas de variedades en BSAF. Los resultados sobre factores agroecológicos revelaron una alta relación de la enfermedad con la acidez del suelo. Fincas con suelos pobres en materia orgánica y valores de acidez del suelo (pH: 3,8 – 4,5) presentaron mayores niveles de incidencia de MF de que suelos con altos valores de materia orgánica. Adicionalmente, se identificó que la MF está asociada con malas prácticas de manejo como la introducción de material de siembra y suelo de otras fincas sin control fitosanitario. Con base en los resultados obtenidos en el estudio se proponen un grupo de medidas de manejo integrado para el manejo de la MF que consideran estos aspectos y que fueron direccionadas a: i) Reducir la dispersión del patógeno de áreas contaminadas a áreas libres; ii) Eliminar o reducir el inóculo primario y iii) Disminuir la tasa de infección y desarrollo de la enfermedad. Este grupo de medidas junto a los aspectos sobre análisis de riesgo de la enfermedad también discutidos en este trabajo, constituyen un importante apoyo para la toma de decisiones sobre el manejo de la MF en la zona de estudio para garantizar la producción sostenible de banano en el Distrito de San Luís de Shuaro.

**Palabras claves:** Banano, Marchitez por *Fusarium*, Mal de Panamá, *Musa* spp. Sistema de producción, Manejo Integrado de plagas, Análisis de riesgo de plagas.

## SUMMARY

Around 155,718 ha of banana (known in the country as plantain) are grown In Peru. In the District of San Luís de Shuaro, this crop plays a fundamental role in food security and income generation. In recent years the varieties of banana grown in the district have been heavily attacked by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (FOC), the causal agent of Fusarium wilt (also known as Panama disease). Despite the growing importance of this crop in the region and the losses caused by the disease, so far there had been no studies on the production systems of the area, varieties present, degrees of affectation of the disease and epidemiological factors associated with the same. The main objective of this study was to realize a diagnose of the current situation of Fusarium wilt (MF) in the district of San Luís de Shuaro, Chanchamayo province, to generate information in support of integrated management strategies of the disease, according to production systems in the area. Initially 149 farms were evaluated using different parameters to identify production systems, based on, the spatial distribution of the crop, variety, management practices, incidence of pests and diseases with emphasis on MF. Based on this information we selected 76 farms (60 with MF and 16 MF free) to evaluate the distribution, incidence and severity of MF and the factors that may be related to the dissemination, distribution and development of the disease

We identified eight varieties of bananas and plantains [Isla (AAB), Seda (AAA) Morado (AAB), Palillo (AAB), Bizcocho (AA), Manzano (AAB), Largo (AAB) y Bellaco (AAB)] distributed in four production systems [Bananas in monoculture (BM), Bananas with Citrus (BCT), Bananas with Coffee (BCF) and Bananas with trees and (BAFS)] distributed from 700 m to 1700 m. The variety which predominated was Isla followed by 'Seda'. 'Isla' is highly associated with monoculture systems and Seda is mostly associated with trees in AFS. The other varieties are grown mixed mainly in AFS.

Six varieties (Isla, Seda, Bizcocho, Morado, Manzano, Palillo), were found affected by MF, with the report of MF in Biscocho and Morado, new reports of the disease in these varieties in the region. MF incidence ranged from 0.15% to 19.74%, with the highest values found in farms planted with the variety Isla in BM (> 5%) and the lowest in farms with a mixture of varieties BAFS. The results of agro-ecological factors revealed, a high ratio of

disease with soil acidity. Farms with low organic matter and higher acidity (pH: 3.8 - 4.5) had higher incidence of MF than soils with high organic matter values. Additionally, it was identified that the MF is associated with poor management practices such as the introduction of planting material and soil from other farms without phyto-sanitary control.

Based on the results of this study, a set of measures for the integrated management of MF were proposed, to address these issues and were directed at: i) reducing the spread of the pathogen from contaminated areas to free areas, ii) Elimination or reduction of the primary inoculum and iii) reduction of the rate of infection and disease development. This group of measures along with certain aspects of the risk analysis of the disease (also discussed in this paper), are an important support for decision-making on the management of MF in the study area, to ensure sustainable production of bananas in the San. Luis Shuaro district.

**Keywords:** Banana Fusarium Wilt, Panama disease, *Musa* spp. Production System, Integrated Pest Management, Pest Risk Analysis.

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Principales plagas y enfermedades que afectan los cultivos de bananos y plátanos.	14
Cuadro 2. Microcuencas del distrito de San Luís de Shuaro con sus respectivos sectores .....	27
(Fuente: Oficina de Desarrollo Agropecuario San Luís de Shuaro, 2011) .....	27
Cuadro 3. Agrupamiento realizado con base a variedades de banano y características de los sistemas de producción para la evaluación de la intensidad y posibles factores asociados con la Marchitez por Fusarium del banano .....	34
Cuadro 4. Escala utilizada para evaluación de la severidad de la Marchitez por Fusarium en banano	36
Cuadro 5. Sistemas de producción de banano presentes en el Distrito de San Luís de Shuaro.	46
Cuadro 6. Análisis de tablas de contingencia entre los sistemas de producción de banano y las variables relacionadas con las prácticas de manejo agronómico del cultivo ( $p=0,05$ ) .....	51
Cuadro 7. Análisis de contingencias de las variables Sistemas de Producción de banano y obtención del material de siembra .....	54
Cuadro 8. Asociación de la variable presencia o ausencia de la Marchitez por Fusarium del banano con las variables de prácticas de manejo de la enfermedad ( $p \leq 0.05$ ) .....	71
Cuadro 9. Conglomerado de los productores con sus características en sus sistemas producción de banano entre las prácticas de manejo a la Marchitez por Fusarium analizado mediante las Tablas de contingencias ( $p \leq 0,05$ ) .....	74
Cuadro 10. Distribución de fincas de acuerdo a la incidencia (%) de la Marchitez por Fusarium ( <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>cubense</i> ). .....	84
Cuadro 11. Análisis de correlación entre la incidencia de la Marchitez por Fusarium y un grupo de variables agroecológicos ( $p \leq 0,05$ ) .....	91
Cuadro 12. Análisis de tablas de contingencias contrastando el uso de las prácticas de manejo con la intensidad de la Marchitez por Fusarium ( <i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>cubense</i> ) en banano en fincas del distrito de San Luís de Shuaro, Perú. ....	94
Cuadro 13. Categorización de los indicadores de salud de suelo, sanidad del cultivo y de las variables, pH, porcentaje de sombra (Som%). *Los rangos de los indicadores de salud de suelo	

y sanidad del cultivo se basan en valores de 0 – 10 (Anexo 3). Rangos de pH y % de sombra se basan en valores de mediciones realizadas durante el estudio.....	97
Cuadro 14. Asociación de las categorías de indicadores de suelo y sanidad de la planta con la Marchitez por <i>Fusarium</i> ( $p \leq 0,05$ ). .....	98
Cuadro 15. Asociación de las variables sombra, acidez del suelo, conglomerados (indicadores de suelo y sanidad de planta) y manejo contra la Marchitez por <i>Fusarium</i> entre las categorías de incidencia de la Marchitez por <i>Fusarium</i> ( <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cubense</i> ), analizados mediante las tablas de contingencias ( $p \leq 0,10$ ). .....	103
Cuadro 16. Estrategias de manejo integrado de la Marchitez por <i>Fusarium</i> en fincas productoras de banano del Distrito de San Luís de Shuaro, Perú. Abreviatura de los sistemas de producción (Cuadro 5). .....	111
Cuadro 17. Medidas generales aplicables en todos los sistemas de producción dependiendo de la presencia o no de la enfermedad.....	115
Cuadro 18. Factores de riesgo para la introducción y diseminación de la Marchitez por <i>Fusarium</i> en fincas productoras de banano en el Distrito de San Luís de Shuaro, Perú.....	118

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Relación de exportación y consumo local de los 10 principales países exportadores de banano Cavendish en el mundo (Fuente: FAO 2009).....	7
Figura 2. Principales zonas productoras de plátanos y bananos en el Perú (Fuente: Sistema de Información Agraria – MINAG 2011).....	9
Figura 3. Estructuras reproductivas de <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. cubense. <b>A.</b> Macroconidios (Poseen longitud 27 - 55 x 3.3 - 5.5 µm, 4- 8 formato de hoz, con células basales en forma de pié). <b>B.</b> Microconidios (Poseen longitud de 5 - 16 x 2.4 - 3.5 µm, 1 o 2 células, ovaes en forma de riñón. <b>C.</b> Fialides y microconidios agrupados en falsas cabezas. <b>D.</b> Clamidosporas (Poseen de 7 - 11 µm diámetro, usualmente globosas formadas individuales o en cadenas). <b>E.</b> <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. cubense raza 4 tropical en medio de cultivo PDA. <b>F.</b> Esporodóquios de color naranja formado en la superficie medio de cultivo PDA (Fotos: M.A. Dita y L. Pérez-Vicente). .....	18
Figura 4. Síntomas externos de la Marchitez por <i>Fusarium</i> en bananos. <b>A.</b> Planta en con síntomas iniciales en proceso de marchitamiento, con presencia clorosis en las hojas inferiores que se doblan en el punto de inserción del peciolo y pseudotallo (Variedad Isla, Perú, Foto Carlos Román). <b>B.</b> Planta con síntomas avanzados de la enfermedad (Variedad Gros Michel, Turrialba, Foto: Miguel Dita). <b>C.</b> Presencia de la rajadura del pseudotallo (Variedad Isla, Perú, Foto: Carlos Román)......	20
Figura 5. Síntomas internos de la Marchitez por <i>Fusarium</i> en bananos. <b>A.</b> Corte transversal del pseudotallo mostrando haces vasculares necrosados. <b>B.</b> Corte transversal mostrando la continuidad de la necrosis en los haces vasculares a lo largo del sistema vascular (Variedad, Gros Michel, Alto Piura, Perú, Fotos: Miguel Dita).....	21
Figura 6. Mapa del Distrito de San Luís de Shuaro. Información de la Cartográfica (curvas de nivel, ríos, vías) del Instituto Geofísico Nacional del Perú el modelo de elevación obtenidos de imágenes de RADAR con 90 m de resolución obtenidos de la página de la NASA. (Fuente: <a href="http://www.igp.gob.pe/index.html">http://www.igp.gob.pe/index.html</a> ; <a href="http://www.nasaimages.org/">http://www.nasaimages.org/</a> ). ....	25
Figura 7. Diagrama representativo del proceso metodológico para el desarrollo de la investigación .....	29



Figura 8. Mapa del distrito San Luís de Shuaro, con un modelo de terreno, mapa topográfico, curvas a nivel y cuadriculado en grids para identificar las fincas para tomar las encuestas e identificar presencia o ausencia de la Marchitez por Fusarium. La circunferencia roja representa zonas inaccesibles para la realización del diagnóstico. ....	31
Figura 9. Procedimiento para la observación de los síntomas internos de la Marchitez por Fusarium en banano en el distrito de San Luís de Shuaro, Perú. <b>A.</b> Introducción del cuchillo a los 50 cm de la base del pseudotallo. <b>B.</b> Tamaño y forma del corte mostrando haces vasculares necróticos, síntomas típicos de la Marchitez por Fusarium del banano (donde muestra la flecha). ....	33
Figura 10. Ubicación de finca en el distrito de San Luís de Shuaro, Departamento de Junín, Perú seleccionadas para estudios de la Marchitez por Fusarium ( <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. cubense) categorizadas por sistemas de cultivo, variedades de banano y ausencia o presencia de la enfermedad.....	35
Figura 11. Ilustración del método empleado en la medición de la densidad de unidades productoras de banano por hectáreas (Tomado de Soto (1992), modificado por Brenes y Vargas (2009)). ....	37
Figura 12. pH metro digital modelo KCB-300 utilizado para medir la acidez del suelo (pH)..	39
Figura 13. Mapa del distrito de San Luís de Shuaro, mostrando la localización de las fincas seleccionadas para el estudio y la distribución de los sistemas de producción de banano. ....	45
Figura 14. Variedades de banano y plátano utilizadas y su frecuencia de distribución en fincas del distrito de San Luís de Shuaro, provincia de Chanchamayo. ....	49
Figura 15. Variedades de banano y sus combinaciones utilizadas en diferentes sistemas de producción en el distrito de San Luís de Shuaro, Perú. ....	50
Figura 16. Análisis de correspondencia de sistemas de producción de banano con prácticas de manejo agronómico del cultivo. BM: Monocultivo; BCT: banano asociado con cítrico; BCF: banano asociado con café; BSAF: banano asociado con árboles. Las abreviaturas de las prácticas de manejo están detalladas en el Cuadro 7. ....	52
Figura 17. Análisis de correspondencia de las variables sistemas de producción de banano entre el proceso de selección de semilla en el distrito de San Luís de Shuaro. Donde: Agua hervida más cal y ceniza (AHCC), cal y ceniza (CC), lejía (L), eliminó raíces, tierra en el campo donde compro o saco el hijuelo (CPO), elimino raíces, tierra en el mismo campo donde instalare el nuevo cultivo (CPM), insecticida nematicida (IN); insecticida, nematicida y fungicida (INF)	55

Figura 18. Plagas y enfermedades presentes en el cultivo de banano en el distrito de San Luís de Shuaro- Chanchamayo .....	56
Figura 19. Las plagas y enfermedades del banano identificadas en fincas del Distrito de San Luís de Shuaro, Perú. <b>A</b> Daños producidos por el Picudo negro del Plátano ( <i>Cosmopolites sordidus</i> ) <b>B</b> . <i>Sigatoka</i> negra ( <i>Mycosphaerella fijiensis</i> ) <b>C, D y E</b> . Síntomas externos de Elefantiasis ( <i>Ustilagioidella oedipigera</i> ) en las variedades de Morado y Seda, evidenciando el engrosamiento y formación de capas en el cormo con la final caída de la planta. ....	57
Figura 20. Mapa del distrito de San Luis de Shuaro, mostrando la localización de las fincas seleccionadas para el estudio y la presencia o ausencia de la Marchitez por <i>Fusarium</i> del banano.....	58
Figura 21. Síntomas externos de Marchitez por <i>Fusarium</i> en las variedades de banano en San Luís de Shuaro - Perú. <b>A</b> . Planta de Isla, con los síntomas iniciales de la enfermedad, colgamiento de las hojas jóvenes, formando una falda al pseudotallo. <b>B</b> . Debilitamiento y amarillamiento, intenso de las hojas maduras y jóvenes. <b>C</b> . Planta totalmente muerta de la variedad Seda. <b>D</b> . Inicio de la rajadura del pseudotallo y la formación de los hijuelos hermosos en la variedad Isla. <b>E,y F</b> . Rajadura del pseudotallo y la exposición de los haces vasculares en las variedades Isla y Palillo.....	60
Figura 22. Síntomas internos de Marchitez por <i>Fusarium</i> en las variedades de banano en el distrito de San Luís de Shuaro. <b>A</b> . Cormo con manchas necróticas <b>B</b> . Pseudotallo con la presencia de los haces vasculares necróticamente generalizado, de colores amarillo, rojizo y marrón. <b>C</b> . Necrosis de los haces vasculares en el Peciolo y Vaina del banano. ....	61
Figura 23. Línea de tiempo de la presencia de Marchitez por <i>Fusarium</i> ( <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. cubense), en el distrito de San Luís de Shuaro, provincia de Chanchamayo, Perú. ....	62
Figura 24. Análisis de tablas de frecuencias de la percepción de los productores de como está el estado actual de la Marchitez por <i>Fusarium</i> en el distrito de San Luís de Shuaro–Perú .....	62
Figura 25. Análisis de tablas de frecuencias de los factores bióticos y abióticos que confunden los productores del distrito de San Luís de Shuaro con los síntomas de la Marchitez por <i>Fusarium</i> del banano ( <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. cubense) .....	63
Figura 26. Incidencia de la Marchitez por <i>Fusarium</i> en variedades de banano en fincas en el distrito de San Luís de Shuaro Valores de incidencia corresponden cálculo del número de Fincas donde la variedad fue encontrada enferma sobre el número total de fincas donde la variedad estaba presente. ....	64

Figura 27. Distribución por sistemas de producción las variedades de banano afectadas por la Marchitez por Fusarium, en el Distrito de San Luís de Shuaro, Perú.....	65
Figura 28. Trochas y caminos dentro de las fincas de los sistemas de producción de banano monocultivo. ....	66
Figura 29. Prácticas y/o actividades ejecutan productores para el control de la Marchitez por Fusarium ( <i>F. oxysporum</i> f.sp. cubense), en fincas de banano con (A) o sin (B) presencia de la enfermedad en el distrito de San Luís de Shauro-Chanchamayo-Perú. Donde: eliminación de las plantas sospechosas (Eli_Pe_Sp,) cirugías para identificar Marchitez por Fusarium (Ci_Id_Foc), distanciamiento entre plantas entre los linderos, barreras naturales (Dit_Barr) abonamiento (Su_Nut_Fert) selecciona semilla sana y de buena calidad (Se_Sem_Bc), desinfecta herramienta (De_Herr), participa en la capacitación (Pa_Ca), revisa plantas vecinas (Re_Pl_Ve), aplica materia orgánica, biofermentos, viores, MM (Ap_Mo_Bo), delimita los bordes de la finca con zanjas (De_Bo_Za), evita pasar a las personas dentro de su finca (Ev_Pa_Ge), toma atención el movimiento del suelo por la corriente de agua (To_Ms_Ca), selecciona plantas enfermas para disminuir el movimientos de personas sobre el punto(Se_Pe_Mp), organiza a los cosechadores, podadores (Or_Co_Po), desinfecta botas ingresa a su finca (De_Bo_In_Fi), Introduce suelo (In_Su) y Material Vegetal (In_Mat_Veg).70	70
Figura 30. Análisis de correspondencia de las variables presencia y/o ausencia de Marchitez por Fusarium ( <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. cubense) entre las prácticas de control integrado para la enfermedad. Donde: No Introduce Material Vegetal (No_In_Mat_Veg), No introduce suelo (No_Su), Desinfecta botas ingresa a su finca (De_Bo_In_Fi), organiza a los cosechadores, podadores (Or_Co_Po), selecciona plantas enfermas para disminuir el movimientos de personas sobre el punto(Se_Pe_Mp), toma atención el movimiento del suelo por la corriente de agua (To_Ms_Ca), delimita los bordes de la finca con zanjas (De_Bo_Za), aplica materia orgánica, biofermentos, viores, MM (Ap_Mo_Bo), revisa plantas vecinas (Re_Pl_Ve), participa en la capacitación (Pa_Ca), desinfecta herramienta (De_Herr), selecciona semilla sana y de buena calidad (Se_Sem_Bc), abonamiento (Su_Nut_Fert), distanciamiento entre plantas entre los linderos, barreras naturales (Dit_Barr), cirugías para identificar Marchitez por Fusarium (Ci_Id_Foc) y eliminación de las plantas sospechosas (Eli_Pe_Sp). ....	72
Figura 31. Dendrograma resultante del análisis de conglomerados (método de Ward, distancia Jaccard), para las 149 fincas considerado las prácticas de manejo de la Marchitez por Fusarium y sus sistemas de producción de banano- San Luís de Shuaro-Perú. ....	73

Figura 32. Análisis de correspondencia del agrupamiento de los productores de acuerdo a las actividades de control para Marchitez por Fusarium donde: Introduce Material Vegetal (In_Mat_Veg), Introduce suelo (No_Su), Desinfecta botas ingresa a su finca (De_Bo_In_Fi), organiza a los cosechadores, podadores (Or_Co_Po), selecciona plantas enfermas para disminuir el movimientos de personas sobre el punto (Se_Pe_Mp), toma atención el movimiento del suelo por la corriente de agua (To_Ms_Ca), delimita los bordes de la finca con zanjas (De_Bo_Za), aplica materia orgánica, biofermentos, viales, MM (Ap_Mo_Bo), revisa plantas vecinas (Re_Pl_Ve), participa en la capacitación (Pa_Ca), desinfecta herramienta (De_Herr), selecciona semilla sana y de buena calidad (Se_Sem_Bc), abonamiento (Su_Nut_Fert), distanciamiento entre plantas entre los linderos, barreras naturales (Dit_Barr), cirugías para identificar Marchitez por Fusarium (Ci_Id_Foc) y eliminación de las plantas sospechosas (Eli_Pe_Sp).....	76
Figura 33. Análisis de componentes principales de los sistemas de producción de banano con los indicadores agroecológicos. Donde: Porcentaje de sombra (%Som), orientación del vértice (Ori_Vert), pH (acidez del suelo), Inclinação de la pendiente (Incli%), densidad de plantas (Den_Pl).....	78
Figura 34. Análisis de correspondencia de los sistemas de producción de banano entre los indicadores calidad de suelo. Estructura (Estr_S), profundidad de suelo (Prof_S), Estados de residuos (Esta_Res), Color, olor y materia orgánica (C_O_Mat_Org), desarrollo de raíces (Des_Raiz), cobertura de suelo (Cob_S), Erosión (Erosión), Actividad biológica (Act_Biol).	79
Figura 35. Análisis de correspondencia de los sistemas de producción de banano entre los indicadores de salud del cultivo. Donde: Manejo de la cepa (MCH), Diversidad Natural Circundante (Diver_Nat_Circu), Apariencia (Apariencia), Crecimiento del cultivo (Crec_Cult), Incidencia de enfermedades (Inc_Enf), Competencia de malezas (Comp_Male), Diversidad Vegetal (Diver_Vegetal), Sistema de manejo (Siste_Ma).....	81
Figura 36. La severidad e incidencia de la Marchitez por Fusarium (Fusarium oxysporum f. sp. cubense) del banano en fincas productoras del distrito de San Luís de Shuaro, Chanchamayo – Perú, analizados mediante la regresión lineal. ....	83
Figura 37. Análisis de correspondencia entre variables grupo de variedades de banano y categorías de incidencia de la Marchitez por Fusarium del banano. ....	87
Figura 38. Análisis de correspondencia entre los sistemas de producción de banano y las categorías de incidencia de Marchitez por Fusarium del banano. ....	88

Figura 39. Mapa de distribución de la intensidad de la Marchitez por Fusarium del banano, distribuido en categorías de incidencia de la enfermedad en fincas de producción del banano del distrito de San Luís de Shuaro, Provincia de Chanchamayo, Perú.....	89
Figura 40. Asociación de factores de riesgo con la diseminación de la Marchitez por Fusarium ( <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. cubense), en el distrito de San Luís de Shuaro. Perú.....	95
Figura 41. Dendrograma resultante del análisis de conglomerados (método de Ward, distancia Euclidea), de indicadores de calidad de suelo y salud de la planta que mostraron asociación significativa con la incidencia de la Marchitez por Fusarium en 76 fincas productoras de banano en el Distrito San Luís de Shuaro-Perú.....	99
Figura 42. Representación del tetraedro de la enfermedad, mediante el análisis de correspondencia con las variables sombra (Som), Acidez del suelo (pH), Grupo de variedades, conglomerados de indicadores de suelo y sanidad de las plantas, practicas de manejo de la Marchitez por Fusarium donde: Introduce Material Vegetal (In_Mat_Veg), Introduce suelo (In_Su), Desinfecta botas ingresa a su finca (De_Bo_In_Fi), organiza a los cosechadores, podadores (Or_Co_Po), toma atención el movimiento del suelo por la corriente de agua (To_Ms_Ca), aplica materia orgánica, biofermentos, viales, MM (Ap_Mo_Bo), desinfecta herramienta (De_Herr), selecciona semilla sana y de buena calidad (Se_Sem_Bc), abonamiento (Su_Nut_Fert), distanciamiento entre plantas entre los linderos, barreras naturales (Dit_Barr), Evita pasar la gente (Ev_Pa_Ge), realiza la cirugía para identificar FOC (Ci_Id_Foc), elimina plantas enfermas y sospechosas (Ei_Pe_Sp), Participa en capacitaciones (Pa_Ca).....	104

## LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS

BBTV:	<i>Banana Bunchy Top Virus</i>
BCF:	Banano con café
BCT:	Banano con cítricos
BM:	Banano Monocultivo
BSAF:	Banano con árboles
CATIE:	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
FAO:	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
FOC	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cubense</i>
FAOSTAT:	<i>Food and Agriculture Database</i>
GPS:	<i>Global Positionning System</i>
IGN:	Instituto Geográfico del Perú
INIA	Instituto Nacional de Investigación Agraria
MINAG:	Ministerio de Agricultura
MIE:	Manejo Integrado de la Enfermedad
MF:	Marchitez por Fusarium
MM	Microorganismo de montaña
MPCH:	Municipalidad provincial de Chanchamayo
SENAMHI:	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
SENASA	Servicio Nacional de Sanidad Agraria
SUNAT:	Superintendencia Nacional de Administración Tributaria
SIG:	Sistema de Información Geográfica
SLSH:	San Luís de Shuaro
VCG	Grupo de Compatibilidad Vegetativa

# 1 INTRODUCCIÓN

Los plátanos y bananos (*Musa* spp.) constituyen el cuarto cultivo alimentario más importante del mundo, con una producción mundial de 116 millones de toneladas (FAOSTAT 2011), de las cuales el 85% se consume y/o comercializa localmente (FAO 2006).

En Perú, el cultivo de banano (conocido en el país como plátano) se encuentra distribuido, tanto en la costa como en la selva, es considerado un cultivo básico para la alimentación de la población (INIA 2011). Sin embargo, el cultivo enfrenta algunas limitantes para la producción, como el ataque de plagas y enfermedades, cuya importancia económica varía según el sistema de producción y las condiciones ambientales. En sistemas de producción agroforestales, donde se cultiva mayormente la variedad Gros Michel (AAA), el principal problema fitosanitario es la Marchitez por *Fusarium*, cuyo agente causal es el hongo del suelo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (FOC). Esta enfermedad que es también conocida como “Mal de Panamá”, está entre las más destructivas de las musáceas a nivel mundial (Stover y Simmonds 1987; Moore y Pegg 2000; Ploetz 2006).

En el siglo pasado la Marchitez por *Fusarium* destruyó miles de hectáreas de la variedad Gros Michel (AAA) en Latinoamérica y el Caribe (Stover 1962), causando un gran impacto socio-económico en la región y obligando a la industria bananera a sustituir ‘Gros Michel’ por clones del subgrupo Cavendish (AAA). A pesar de que en la actualidad los clones de Cavendish predominan en las plantaciones comerciales de banano en el mundo, ciertas variedades susceptibles a Marchitez por *Fusarium* como Gros Michel y Manzano continúan cultivándose en América Latina y el Caribe (Perez y Pocasangre 2010). Estas variedades están en patios de casa, huertas familiares y principalmente en sistemas agroforestales asociadas a café y árboles, donde en cierta medida se han ido manteniendo a pesar de la incidencia de la Marchitez por *Fusarium*.

*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (FOC) es considerado un patógeno de alta complejidad (Ploetz 2006). Hasta el momento cuatro razas fisiológicas y 21 grupos de compatibilidad vegetativa (VCGs) han sido descritos (Ploetz 2006). De acuerdo con el sistema actual de clasificación, la raza 1 afecta Gros Michel (AAA), raza 2 afecta Bluggoe, Pisang Awak (ABB) y otros bananos de cocción (ABB); la raza 3 afecta las heliconias; y la raza 4 afecta las variedades del sub grupo Cavendish (Stover y Waite 1960; Waite 1963; Bentley et al. 1998; Ploetz 2006). La raza 4 fue dividida en sub tropical y tropical, para diferenciar

poblaciones que afectan a Cavendish en zonas subtropicales, pero que no son capaces de afectar esta variedad en el trópico. La raza 4 tropical, sin embargo, puede afectar a Cavendish en las dos condiciones (Ploetz 2006; Budenhagen 2009).

*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (FOC) es un hongo del suelo, que infecta la planta a través de la raíces secundaria y luego invade los tejidos del rizoma y del pseudotallo, provocando la muerte de la planta. La colonización es rápida a medida que el micelio se extiende a través de los tejidos vasculares, necrosando los tejidos y obstruyendo el xilema. Como resultado la planta exhibe síntomas de marchitez y clorosis en sus hojas iniciando por las hojas más viejas y progresando a las más nuevas hasta que la planta presenta un marchitamiento terminal (Stover 1962; Haarer 1965; Ploetz y Pegg 2000). En suelos infestados con el patógeno, es impracticable plantar clones susceptibles debido a que produce estructuras de sobrevivencia del hongo (clamidoporas) se mantienen latentes, por lo menos, 30 años (Stover 1962). El control químico de esta enfermedad es económicamente impracticable (Rowe 1987, Stover y Simmonds 1987).

La raza 1 de la Marchitez por *Fusarium* sigue siendo una limitación para la producción de clones susceptibles en especial de Gros Michel, los cuales son plantados por pequeños productores en sistemas mixtos asociados con café, cacao y árboles de uso múltiple. Estudios recientes realizados en las zonas cafetaleras de Costa Rica, Honduras, Nicaragua y Perú, revelaron que Gros Michel es la variedad predominante en este tipo de sistemas (Siles et ál. 2010; Tapia et ál. 2010). De manera similar en Colombia el Gros Michel representa el 90% de las variedades cultivadas en sistemas agroforestales (Ramírez y Del Valle 2010). En estudios realizados en la zona de Talamanca y Turrialba, Costa Rica, más del 80% de las fincas de banano con café orgánico bajo sombra estaban afectados por Marchitez por *Fusarium*, con una incidencia de 7% en Talamanca y de 43% en Turrialba (Silagyi y Pocasangre 2003). Todo indica que en estas condiciones la enfermedad sigue diseminándose con una tendencia a incrementar en los últimos años. El movimiento de material de siembra infectado y la falta de medidas direccionadas a disminuir la fuente de inóculo aliadas a la falta de conocimientos sobre aspectos epidemiológicos y de manejo, están entre las causas de la dispersión del patógeno. Esta misma tendencia se ha apreciado en Perú, aunque se desconoce con exactitud el estado actual de la enfermedad en las regiones productoras. De manera similar no existen informaciones representativas sobre el grado de conocimiento sobre la enfermedad



por parte de los productores y ni cuáles son las prácticas de manejo que aplican a las plantas enfermas.

La producción de banano en cafetales es una tecnología utilizada por productores donde inicialmente el banano era utilizado como sombra temporal para el café y/o, cacao y para el autoconsumo. En las últimas dos décadas el comercio de banano producido en cafetales se ha incrementado y el componente de banano se ha convertido en una importante fuente de ingresos (Siles et ál. 2010; Ramírez y Del Valle 2010; Tapia et ál. 2010).

En la región de Junín, Perú, existe y se cultivan en mayor cantidad las variedades Gros Michel, (conocido localmente como Seda), Isla (AAB sub grupo Iholena) y el Palillo (AAB sub grupo Plantain). Estas variedades tienen mucha demanda en los centros urbanos y en mercados de la costa, pero presentan susceptibilidad a la Marchitez por Fusarium (Siles et ál. 2010). A pesar de la importancia de esta enfermedad y de la aceptabilidad y demanda en el mercado local de estas variedades, hasta el momento no se ha realizado estudios epidemiológicos de la Marchitez por Fusarium en bananos que generen insumos que pueda servir de apoyo para el diseño de prácticas de manejo de la enfermedad que disminuya la intensidad de la enfermedad así como la dispersión del patógeno. Aun en las zonas donde la Marchitez por Fusarium no se ha evidenciado estos temas deben ser prioritarios, ya que el material de siembra circula de finca en finca y de zona a zona sin controles fitosanitarios y pocos productores están conscientes del problema.

## **1.1 Justificación e importancia**

En el Perú, en la región Junín, distrito de Chanchamayo, el cultivo del banano (conocido regionalmente como plátano) forma parte de la seguridad alimentaria de la población. En la actualidad este cultivo tiene limitaciones especialmente por la incidencia de plagas y enfermedades que causan pérdidas a todo nivel. Una enfermedad a considerar es la Marchitez por Fusarium causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, la cual representa una amenaza creciente para las variedades más comunes cultivadas en la zona, tales como: Seda (Gros Michel, AAA), Isla (AAB, subgrupo Iholena), Palillo (AAB, subgrupo Plantain) y Manzano (AAB), las cuales son susceptibles a la enfermedad. Además de las pérdidas en la producción ocasionadas por la enfermedad, existe el riesgo de que la disponibilidad de estos recursos genéticos se vea comprometida.

Estas variedades son en su mayoría cultivadas por productores de pequeña escala en sistemas mixtos, asociados con cultivos perennes como café, cacao y cítricos con o sin árboles, destinándose el producto para el consumo del hogar y para la venta en los mercados locales. En estas condiciones la Marchitez por *Fusarium* se ha incrementado debido al uso de prácticas inadecuadas como: el trasplante de hijuelos de apariencia sana (asintomáticos), pero infectados y la ausencia de prácticas de reducción de inóculo en el campo. Como el patógeno persiste por largo tiempo en el suelo, áreas contaminadas son inservibles para el cultivo sostenible de estas variedades, por lo que el productor debe cambiar de variedad por otras de menor aceptación. Si bien es cierto que el uso de variedades resistentes es la práctica de control más adecuada, existen medidas que si aplicadas conscientemente, conociendo los aspectos epidemiológicos de la misma y con una caracterización adecuada del sistema de producción, podrían minimizar las pérdidas y reducir la tasa de dispersión del patógeno en la región. Pese al riesgo de la enfermedad, aún no se han realizado trabajos de investigación en el Perú que aporten soluciones a los productores acerca del manejo sostenible de la enfermedad, la cual es una seria preocupación para toda la comunidad en especial para la región de Junín.

Considerando lo anteriormente expuesto, se hace necesario realizar investigaciones, para determinar la intensidad y distribución geográfica de la enfermedad, así como los factores que podrían estar influenciando su desarrollo. Estudios de este tipo generaría conocimientos para que el distrito de San Luís de Shuaro, de la región Junín, provincia de Chanchamayo, Perú, puedan diseñarse e implementarse estrategias de manejo de la Marchitez por *Fusarium* que permitan disminuir la diseminación del patógeno y reducir la intensidad y pérdidas provocadas por la misma.

## **1.2 Objetivos del estudio**

### ***1.2.1 Objetivo general***

Realizar un diagnóstico de la situación actual de la Marchitez por *Fusarium* en bananos en el distrito de San Luís de Shuaro, provincia de Chanchamayo, Perú, para generar informaciones que fundamenten estrategias de manejo integrado de la enfermedad.

### ***1.2.2 Objetivos específicos***

**1. Caracterizar los sistemas de producción utilizando indicadores agroecológicos relacionados con la salud del suelo y del cultivo de banano en el distrito de San Luís de Shuaro, provincia de Chanchamayo en función de las prácticas de manejo de la Marchitez por Fusarium.**

- ¿Cuáles son las características de los sistemas de producción de banano en la zona?
- ¿Cuáles son las variedades utilizadas y su grado de susceptibilidad a la Marchitez por Fusarium?
- ¿Cómo realizan el proceso de selección y/o de adquisición de semilla en su finca?
- ¿Cuáles prácticas de manejo utilizan los productores para eliminar plantas afectadas por la Marchitez por Fusarium?
- ¿Es posible identificar grupo de productores de acuerdo a las prácticas de manejo de la enfermedad y las características de sus sistemas de producción?

**2. Realizar un diagnóstico de la situación actual de Marchitez por Fusarium en bananos, en el distrito de San Luís de Shuaro, provincia de Chanchamayo, basado en la incidencia, severidad y distribución de la enfermedad**

- ¿Cuál es la intensidad y cómo está distribuida la Marchitez por Fusarium en bananos en el distrito?
- ¿Hay diferencias en la finca, entre fincas y/o entre microcuencas?
- ¿Ha habido un incremento de la enfermedad en el tiempo? ¿Desde cuándo?
- ¿Hay factores agroecológicos y/o de manejo, asociados con el desarrollo, diseminación y distribución de la enfermedad? ¿Cuáles?
- ¿Cuáles serían a nivel de finca, microcuenca o región, los factores de mayor relación con la dispersión y/o intensidad de la enfermedad?

**3. Diseñar estrategias de manejo integrado de la Marchitez por Fusarium en bananos, direccionadas a disminuir la intensidad y diseminación de la enfermedad**

- ¿Cuáles son los puntos débiles de los sistemas de producción que están contribuyendo con el aumento de la enfermedad?
- ¿Cuáles fincas o sistemas de producción son más eficientes en el control de la enfermedad?

- ¿Cuáles prácticas podrían ser introducidas para reducir la intensidad y diseminación de la enfermedad, incluyendo el uso de nuevas variedades?
- ¿Es factible implementar algunas de esas prácticas de manejo? ¿Cuáles y en qué condiciones o grupos de productores específicos?
- ¿Cuál sería la estrategia a seguir en cada caso?
- ¿Hay elementos que soporten un análisis de riesgo de la enfermedad en la región?

## 2 MARCO CONCEPTUAL

### 2.1 Importancia de los bananos a nivel mundial

Agricultores de 120 países cultivan aproximadamente cerca de 116 millones de toneladas de bananos al año. A pesar de que los bananos ocupan el primer lugar entre las frutas exportadas, el 85% de la producción mundial se consume y comercializa localmente (FAO 2011). Esto los coloca en el cuarto lugar entre los cultivos de importancia alimentaria en el mundo, después del arroz, el maíz y el trigo (FAO 2009). En Costa Rica este cultivo representa una importante fuente de ingresos y genera más de 40 000 mil empleos directos y 100 000 empleos indirectos (Sandoval 2010). En América Latina están 7 países entre los 10 mayores exportadores del mundo, lo cual es indicativo del valor de este cultivo para el continente (Figura 1). La industria del banano para exportación se basa principalmente en variedades del subgrupo Cavendish (AAA), que sustituyeron a la variedad Gros Michel (AAA) desde el año 1960. Esta sustitución se dio principalmente por la alta susceptibilidad de ‘Gros Michel’ a la enfermedad de la Marchitez por *Fusarium* (Stover y Simmonds 1987; Ploetz 2006).

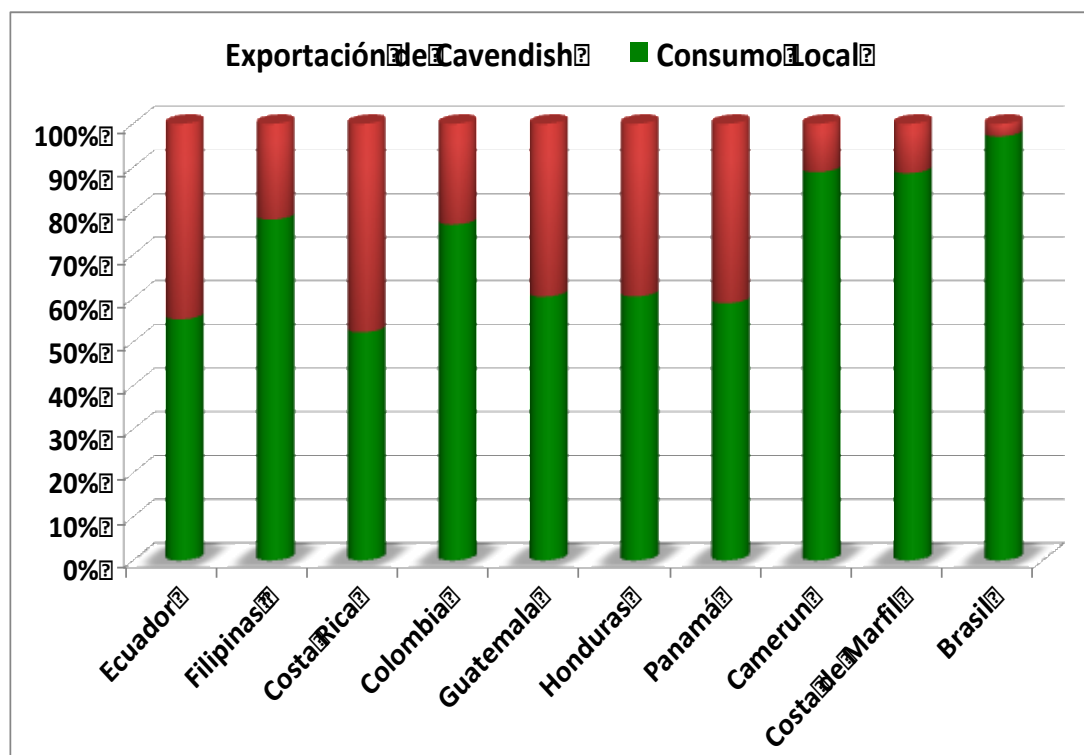


Figura 1 Relación de exportación y consumo local de los 10 principales países exportadores de banano Cavendish en el mundo (Fuente: FAO 2009).

A pesar de que la exportación se basa en variedades del subgrupo Cavendish, variedades tradicionales y susceptibles a la Marchitez por *Fusarium* siguen siendo cultivadas por agricultores de pequeña escala en Latinoamérica. Entre estas variedades están: Gros Michel (AAA), Manzano (AAB), Prata (AAB) y bananos de cocción del tipo Bluggoe (ABB, conocidos como Guineo, Cuadrado, Pera, Burro, etc.). Muchas de estas variedades, principalmente Gros Michel son cultivadas en sistemas agroforestales en asocio con café y cacao. Estas variedades son utilizadas para generar sombra a estos cultivos, pero además representan un ingreso importante de flujo continuo estas familias, el cual es esencial en las entre-zafras de café por ejemplo (Siles et ál. 2010; Pocasangre 2009).

El banano está adaptado en diferentes contextos ecológicos en los diversos continentes y los productores han tenido éxito en el aprovechamiento de este cultivo asociado a sus recursos naturales (Loeillet et ál. 2011), con el cambio climático es probable una abertura para el cultivo en ciertas variedades de banano en altitudes más altas que pronto pueden ser más favorables en el clima (cálidos), posiblemente, en los lugares que actualmente se cultivan papa (Thornton y Cramer 2012), y el Perú no es una excepción a este cambio.

## **2.2 Importancia del cultivo en el Perú**

Los plátanos y bananos (*Musa* spp), conocidos en Perú apenas como plátanos, cumplen un importante papel en la seguridad alimentaria del Perú, en especial en la parte selvática de la Amazonía (Figura 2). Actualmente el banano es considerado el elemento fundamental de la gastronomía regional y nacional donde además de consumo in natura, es preparado de diferentes formas y presentaciones (Procitrópicos/IICA 2010). Se estima que aproximadamente 150 000 familias dependen directa o indirectamente de este cultivo en Perú (INIA 2011). Se calcula que en Perú se plantan 150 mil hectáreas, que equivale al 50% de la superficie total plantada de frutales en el país (Figura 2). La producción total anual es estimada en 1'854,240 toneladas. (FAOSTAT 2011). El 71.5% de las áreas de cultivo se localizan en la región selva, el 22% en la costa norte (Piura y Tumbes) y un 6.5% está distribuida en los demás departamentos del país (MINAG 2011).

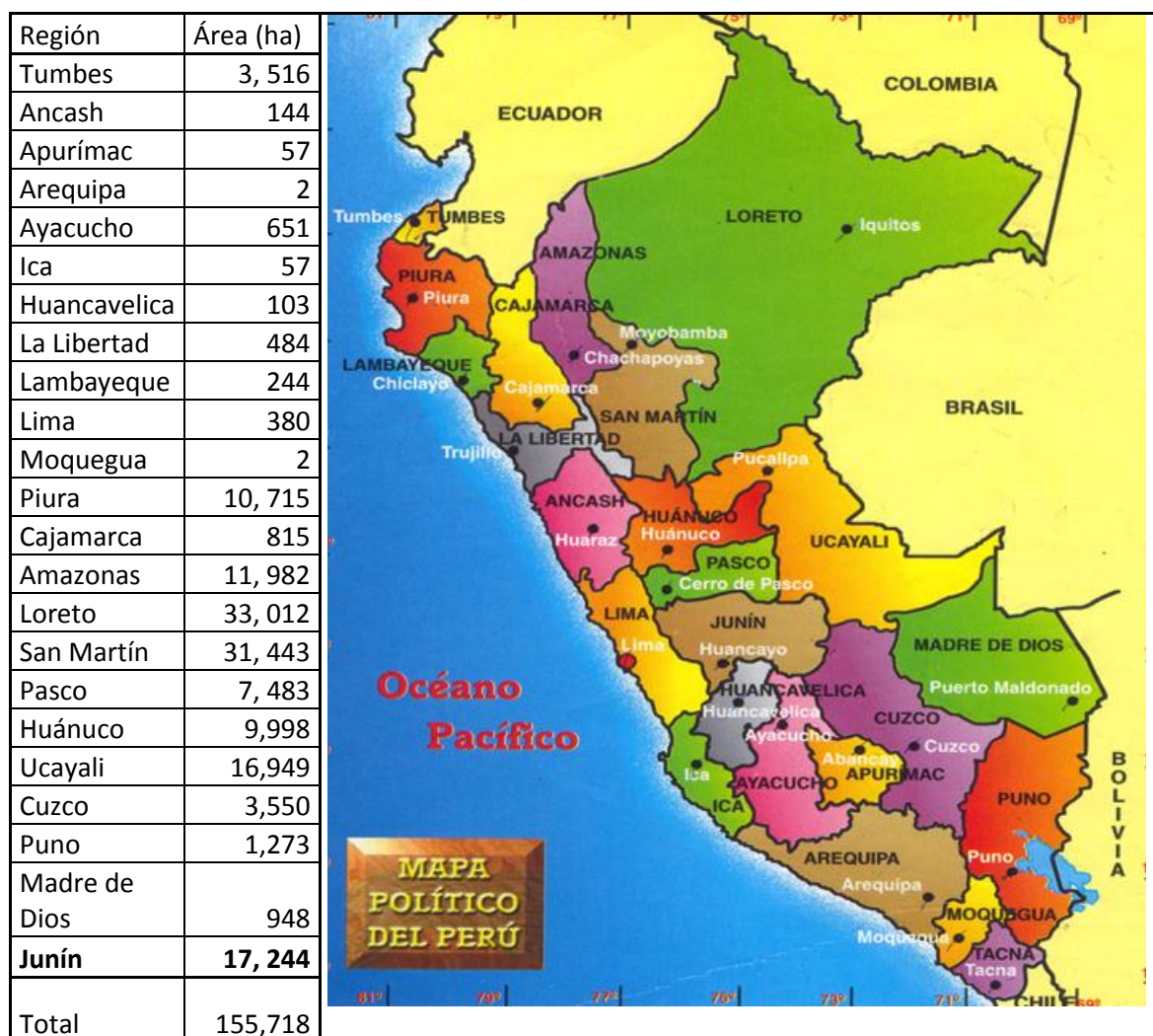


Figura 2. Principales zonas productoras de plátanos y bananos en el Perú (Fuente: Sistema de Información Agraria – MINAG 2011).

Aproximadamente el 90% de la producción nacional se destina al autoconsumo y el restante para la comercialización local e internacional (INIA 2011). El principal mercado nacional es la capital Lima, que absorbe el 8% de la producción total de la selva y costa norte. Desde el año 2000, los agricultores de pequeña escala ubicados en Píura y Tumbes exportan banano orgánico a muchos países en Europa, EEUU y Japón. El Perú se ha convertido en un gran exportador mundial de banano orgánico con 78 000 toneladas y un valor de US \$78 millones en el año 2010 (INIA 2011; MINAG 2011). En el año 2011, se exportó 108 200 toneladas por un valor de US \$69,6 millones (valor FOB) (SUNAT 2012). En el período de Enero a Agosto 2012, las exportaciones de banano orgánico en el Perú sumaron US \$57,1 millones (valor FOB), lo que significó un crecimiento del 27% respecto al mismo período del

año pasado, con 83 600 toneladas enviadas y a un precio promedio de US \$ 12,13 por caja exportada (SUNAT 2012). El Perú se ha convertido en un jugador importante en el mercado orgánico y el comercio justo (Loeillet et ál. 2011).

El distrito de Chanchamayo (Región Central del País), es el principal abastecedor de bananos para Lima (MINAG 2012). En este distrito los sistemas de producción que se emplean son: sistemas agroforestales y cultivos asociados con café, cacao, cítricos, u otros cultivos anuales que son utilizados como sombra temporal, consumo y fuente de ingresos (Krauss et ál. 1999).

## 2.3 Origen y clasificación de los bananos

Es un hecho reconocido que el hombre ha usado al banano como alimento por miles de años contribuyendo a las dietas básicas de numerosos pueblos en los trópicos y sub trópicos, siendo una de las primeras frutas que cultivaron los agricultores primitivos (Soto 1985; Perrier et ál. 2011). Su centro de origen se encuentra en el Sureste Asiático, simultáneamente en Malasia y en las Islas de Indonesia (Simmonds 1962; Soto 1985; Haarer 1965; Vézina 2008). Estudios recientes de la integración de la arqueología, la genética y la lingüística proporcionan una visión sólida de la historia de la domesticación del banano y señalan que es oriundo de las húmedas regiones tropicales del sureste de Asia, incluyendo el noreste de la India, Burma, Camboya y partes de la China del Sur, así como las Islas Mayores de Sumatra, Java, Borneo, Las Filipinas y Taiwán (Perrier et ál. 2011).

Subespecies de *Musa acuminata* y *M. balbisiana* son los principales componentes de las variedades actuales en la serie *Eumusa*, que agrupa los diferentes tipos de bananos comestibles (Simmonds y Shepherd, 1955). Dado que los componentes de *M. acuminata* subespecies *banksii* y *errans* se originaron en la región de Filipinas y Nueva Guinea, estas subespecies pueden ser el origen de las primeras variedades cultivadas (Stover y Simmonds 1987; Jones 2000; Perrier et ál. 2011). El hecho de que *banksii* y *errans* sean más susceptibles a las enfermedades que otras subespecies de *M. acuminata*, puede explicar por qué muchas variedades actuales son susceptibles a diversos patógenos (Jones 2000). La distribución comercial a nivel mundial del triploide AAA, "Gros Michel" y "Cavendish", deriva genéticamente de 2N gametos del subgrupo cv. *Mlali* (AA) y una N de gametos de la cv. *Khai*



AA. El origen de estos triploides (AAA) está en el norte del Golfo de Tailandia o el sur del Mar de China (Perrier et ál. 2011).

La palabra banano se originó en África, se les atribuye a las comunidades nativas de Guinea hace más de 500 años. Ellos instalaban bajo su dominio plantaciones de banano por su excelente sabor y se dedicaron a propagarlo en su territorio, manteniendo su nombre “banano”, “banana”, el cual se ha perpetuado hasta nuestros días (Soto 1985). La variedad Gros Michel, probablemente fue introducida al nuevo mundo por el botánico Francois Pouat en 1836. Las crónicas españolas de 1504 señalan la existencia en los trópicos americanos de una banana harinosa utilizada en guisos diversos y conocida con el nombre de plantainas (Harrer 1965). El traslado de la banana dulce desde las Islas Canarias a Santo Domingo en 1516 se atribuye a Fray Tomás de Berlanga, obispo de Panamá y descubridor de las Islas Galápagos (Harrer 1965; Soto 1985). De allí se extendió a otras regiones y posteriormente al continente. La introducción del Gros Michel a Perú puede haberse efectuado alrededor de esa fecha en el siglo XV aproximadamente. La variedad Isla que predomina en la Selva Central del Perú, ha sido introducido de Asia vía Isla Canarias (de ahí su nombre) por los españoles (Krauss et ál. 1999).

Los primeros clones aparecidos en el nuevo mundo fueron el Silk Fig y French Plantain, sobre los cuales basó Linneo su clasificación (Simmonds 1952; Haarer 1965; Soto 1985). Posteriormente describen los bananos siguiendo la clasificación de Simmonds (1973), quien utilizó como fuentes fundamentales de información la introducción de clones del Imperial College of Tropical Agricultura en Jamaica (Soto 1985; Vézina 2008).

Los bananos son plantas monocotiledóneas, pertenecen al orden de los Zingiberales, familia Musáceas la cual está constituida por dos géneros: *Musa* y *Ensete* (Soto 1985). El género *Musa*, que es derivado de la palabra Árabe mouz (Keep 1927), está formado por cuatro secciones o series: *Australimusa*, *Callimusa*, *Rhodochlamys* y *Eumusa* (Stover y Simmonds, 1987). La mayoría de los bananos comestibles pertenecen a la sección *Eumusa* (n=11) son diploides o triploides y proviene de dos especies *Musa acuminata* (genoma A) y *Musa balbisiana* (genoma B). En cruzamientos inter-específicos se han originado la mayoría de los cultivares de banano y plátanos comestibles (Haarer 1965; Stover y Simmonds 1987). La especie *Musa acuminata* (AA), ha aportado las características deseables de calidad en los cultivares comestibles, resultando en variedades de mayor importancia (Simmonds 1973; Haarer 1965).

*Musa acuminata* es diploide ( $2n=22$ ) y es representada por genotipos de porte bajo con pseudotallos delgados y un sistema foliar reducido. Plantas de esta especie se caracterizan por presentar una coloración parduzca que se convierte en manchas heterogéneas claramente definidas en las láminas de las hojas y en una coloración roja oscura, uniforme en las vainas internas del pseudotallo. Los racimos tienden a crecer horizontalmente, son pequeños y con dedos muy delgados que producen semillas (Stover y Simmonds 1987). Esta especie posee seis subespecies: *malaccensis*, *burmannicoides*, *siamea*, *banksii*, *burmannica* y *microcarpa*. (Simmonds y Shepherd 1955; Pierrer et ál. 2011).

*Musa balbisiana* (BB) posee igualmente 22 cromosomas. Genotipos de esta especie presentan plantas vigorosas con un sistema foliar y pseudotallo de color verde claro intenso. El racimo es compacto con frutos globosos con abundantes semillas. Una característica peculiar es la inflorescencia donde se quedan adheridas pequeñas brácteas individuales persistentes en el racimo. Las plantas de esta especie se caracterizan por su alta resistencia a condiciones ecológicas adversas y a las plagas más comunes del banano, aportando las características deseables de resistencia y vigor a los cultivares comestibles, pero también caracteres indeseables de calidad en los frutos (Simmonds 1962; Soto 1985).

En la actualidad, los diploides comestibles son poco comunes ya que han sido desplazados por los triploides AAA, más productivos pero también más estériles. Los cruzamientos inter-específicos entre *acuminata* (AA) y *balbisiana* (BB), dieron origen a grupos identificados por la contribución respectiva de cada especie silvestre: AB, AAB y ABB (Simmonds 1962).

La variedad Gros Michel (AAA), conocido en el Perú como Seda, es originario de Malasia. Esta variedad se caracteriza por producir frutos grandes, de buen formato que crecen curvados hacia atrás a lo largo del eje del racimo. Los frutos presentan pulpa consistente de buen sabor y aroma, lo que hace de esta variedad preferida en muchos mercados (Tapia et ál. 2010). La cáscara es gruesa y la cutícula dura, lo que implica poco deterioro en la calidad durante el manejo y transporte post-cosecha. La alta susceptibilidad de Gros Michel a la Marchitez por *Fusarium*, fue el factor condicionante para que desapareciera prácticamente del comercio internacional (Haarer 1965; Soto 1985; Moore et ál. 1995; Ploetz y Pegg 2000).

## **2.4 Condiciones climáticas para el desarrollo del cultivo de banano**

Los plátanos y bananos pueden cultivarse en zonas con las siguientes características ambientales: Temperaturas óptimas de 24°C a 27°C, precipitación de 1000 a 1300 mm anuales, con una distribución regular a lo largo del año, con suelos francos, con pH entre 6 y 7.5 bien drenados y el nivel freático entre 90 y 120 cm de profundidad. La humedad del aire debe ser por lo menos del 60%. Fuera de estos rangos las plantas sufren de limitaciones fisiológicas y son más predispuestas a patógenos (Simmonds 1962; Haarer 1965). La humedad del suelo y la temperatura son factores determinantes en la producción de bananos, afectan al crecimiento, el desarrollo de la planta y del fruto. La disponibilidad de agua es probablemente el factor más limitante para la producción de bananos (Soto 1985).

## **2.5 Plagas y enfermedades del cultivo**

Los plátanos y bananos son afectados por diferentes plagas y enfermedades que atacan diferentes partes de la planta (Cuadro 1), limitando el desarrollo y rendimiento del cultivo. Entre las principales que afectan el banano está la Sigatoka negra y la Marchitez por Fusarium. Esta última es una de las enfermedades más destructivas en la historia del cultivo (Stover y Simmonds 1987; Moore et ál. 1995; Ploetz 2006).

*Cuadro 1. Principales plagas y enfermedades que afectan los cultivos de bananos y plátanos*

Nombre común	Nombre científico	Órgano que afecta
Sigatoka	<i>Mycosphaerella musicola</i> Leach ex Mulder	Hoja
Raya Negra / Sigatoka Negra	<i>Mycosphaerella fijensis</i> Morelet	Hoja
Mancha de hoja por septoria	<i>Mycosphaerella eumusae</i>	Hoja
Mancha de hojas negras	<i>Phyllachora musicola</i> Booth & Shaw	Hoja
La Mancha Malaya de la hoja	<i>Haplobasidium musae</i> Ellis.	Hoja
Mancha de la hoja	<i>Phaeoseptoria musae</i> Punith.	Hoja
Moteado de hojas	<i>Acrodontium simplex</i> , <i>Mycosphaerella musae</i> (Speg.)	Hoja
Pecas necróticas de las hojas	<i>Guignardia musae</i> Racib	Hoja- Frutos
Pecas y moteado en las hojas	<i>Cladosporium musae</i> Mason.	Hoja
Pudrición de la corona	<i>Colletotrichum musae</i> (Berk. & Curt.) v. Arx, <i>Fusarium pallidroseum</i> (Cooke) Saccardo <i>Fusarium</i> spp.	Corona-mano
Mancha del hollín	<i>Chaetothyrina musarum</i> (Speg.)	Fruto
Agrietamiento del fruto	<i>Pyricularia grisea</i> (Cooke)	Fruto
Pudrición de la punta	<i>Dothiorella gregaria</i> Sacc.	Fruto
Mancha diamante del fruto	<i>Fusarium</i> spp.	Fruto
Mancha marrón	<i>Cercospora hayi</i>	Fruto
Mancha por Cordana	<i>Cordana musae</i> (Zimmerman) Höhn.	Hoja
Mancha de las hojas; Punta Negra	<i>Deightonella torulosa</i> (Sydow) M. B. Ellis.	Hoja- Frutos-Raíz
Punta de cigarro	<i>Veticillium theobromae</i> Mason & Hughes.	Fruto
Peca de la hoja	<i>Ramichloridium musae</i> Stahel ex de Hoog	Hoja
Pudrición acuosa del pseudotallo y la necrosis del rizoma	<i>Pectobacterium</i> ( <i>Erwinia</i> ) <i>chrysanthemi</i> . Burk <i>et al</i>	Pseudotallo y cormo
Moko	<i>Ralstonia solanacearum</i>	Pseudotallo y cormo
Pudrición blanda del rizoma	<i>Erwinia carotovora</i> ssp. <i>carotovora</i> (Jones)	Pseudotallo, cormo
<b>Mal de Panamá o la Marchitez por Fusarium (FOC)</b>	<b><i>Fusarium oxysporum</i> f.sp <i>cubense</i> (E.F. Smith) Snyd &amp; Hansen</b>	<b>raíz-cormo-pseudotallo</b>
Pudrición del cormo	<i>Armillaria mellea</i> , <i>Ceratocystis paradoxa</i> (Dade)	Cormo- raíces
Pudrición del cormo y raíces	<i>Rosellinia</i> spp.	Raíces
Elephantiasis	<i>Ustilaginoidella oedipigera</i>	pseudotallo-cormo
Pudrición del pseudotallo y raíces	<i>Marasmiellus inoderma</i> (Berkeley)	Raíces y pseudotallo
Pudrición de raíces	<i>Cylindrocladium pteridis</i> Wolf.	Raíces
Mosaico común	<i>Cucumber Masaic Virus</i> (CMV)	Planta
Rayado del banano	<i>Banana Streak virus</i> (BSV)	Planta
Bract Mosaic	<i>Banana Bract Mosaic Virus</i> (BBrMV)	Planta
Banana Die-back	<i>Banana dieback virus</i> (BDBV)	Planta
Banana Mild Mosaic	<i>Banana mild mosaic virus</i> (BanMMV)	Planta
Abaca Mosaic	<i>Abaca mosaic virus</i> (AbaMV)	Planta
Bunchy Top	<i>Banana Bunchy Top Virus</i> (BBTV)	Planta
Nematodo barrenador	<i>Radopholus similis</i> Thorne	Raíces- Cormo
Nematodo lesionado	<i>Pratylenchus</i> spp	Raíces
Nematodo espiral	<i>Helycotylenchus multicinctus</i>	Raíces
Nematodo	<i>Rotylenchus reniforme</i>	Raíces
Nematodo agalleros	<i>Meloidogyne</i> ssp.	Raíces
Picudo negro	<i>Cosmopolites sordidus</i> Gemar	Cormo, pseudotallo
Picudo rayado	<i>Metamasius hemipterus</i> (Oliu)	Cormo, pseudotallo
Pulgón	<i>Pentalonia nigronervosa</i> Cq.	Hoja
Pulgón verde	<i>Mysus persicae</i>	Hoja
Chinche harinosa rabilarga	<i>Pseudococcus adonidum</i> (L.)	Raíces
Chinche harinera	<i>Pseudococcus comstocki</i> (Kuw)	Raíces
Chinche harinosa común de plátano	<i>Pseudococcus</i> sp.	Raíces
Chinche harinosa	<i>Planococcus minor</i> (Markell), <i>Dysmicoccus alazon</i> , <i>D. brevipes</i> , <i>D. bispinosus</i> , <i>Ferrasia virgata</i> , <i>Kritshenkella sacchari</i> , <i>Phenacoccus solenopsis</i>	Raíces
Acaro rojo	<i>Tetranychus tumidus</i> Banks	Fruto
Mosca blanca de espiral	<i>Aleurodicus dispersus</i> Rissed	Hoja

(Fuente: Jones 2000)

## 2.6 La Marchitez por *Fusarium*

### 2.6.1 *Historia, diseminación e importancia de la enfermedad*

Los síntomas de marchitamiento causado por el hongo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, fueron descritos por primera vez en Brisbane, Australia, en 1876 afectando el cultivar ‘Silk’ (Silk/Pisang Rasthali, AAB) (Stover 1962; Pegg et ál. 1994; Ploetz y Pegg 2000). Este cultivar, fue introducido en las Antillas antes de 1750 y se utilizaba como planta de sombra en plantaciones de cacao. La principal causa de la dispersión del patógeno a largas distancia es el traslado de rizomas infectados para su uso como semilla y el suelo contaminado adherido a las cepas que se trasladan de finca a finca. *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* ha co-evolucionado con el banano en Asia (Bentley et ál. 1998; Ploetz 2006; Perez et ál. 2010).

Los hijuelos de una planta enferma, visiblemente asintomáticos albergan el patógeno (Ploetz 2010). Smith (1910) fue el primero en aislar, al cual llamó *Fusarium cubense*, pues recibió las muestras de Cuba. Brandes (1919), fue el primero en completar los postulados de Kosh. Durante las décadas siguientes casi todos los reportes de la enfermedad en el área fueron sobre Gros Michel (Stover 1962). Wollenweber y Reinking (1935) reconocieron que *Fusarium cubense* era una variante de *Fusarium oxysporum*, inmediatamente después la especie *Fusarium oxysporum* var. *cubense* fue renombrada como *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (FOC) por Snyder y Hanns en 1940.

Los primeros reportes de la enfermedad en ‘Gros Michel’ provienen de Costa Rica y Panamá en 1890. Es de consenso entre los investigadores que el patógeno se dispersó a través del material de plantación propagado masivamente para instalar nuevas plantaciones (Stover 1962; Ploetz y Pegg 2000). En esa época grandes cantidades de hijuelos y rizomas contaminados fueron transportados a otros países por las empresas multinacionales de comercio de fruta para complementar las reservas locales de cultivares comerciales, lo que favoreció la diseminación de la enfermedad. El escenario estaba preparado para una epidemia que ocurriría más tarde en las plantaciones bananeras (Ploetz 2010). Un aumento dramático en los registros de la Marchitez por *Fusarium* se produjo entre 1900-1950, provocando un descenso constante y acelerado en la producción de ‘Gros Michel’. Nuevas plantaciones se establecieron en tierras vírgenes. Sin embargo, Marchitez por *Fusarium* fue introducido a las

nuevas áreas con el material de siembra y/o en el suelo adherido a la maquinaria y el proceso comenzó de nuevo. La producción de banano se convirtió en agricultura migratoria, pero igualmente ineficiente, pues el patógeno migraba junto al material de siembra. Los primeros programas de mejoramiento genético en bananos se iniciaron en el Caribe como una respuesta a la Marchitez por *Fusarium* (Rowe 1998; Jones 2000; Álvarez y Rosales 2008) y se basaron en la mejora de 'Gros Michel', que posee cierta fertilidad a pesar de ser triploide. Sin embargo, fue únicamente el reemplazo de 'Gros Michel' por clones resistente de Cavendish (AAA) en el período 1950-1960 que salvó a la industria bananera del colapso total (Stover 1962; Ploetz y Pegg 2000).

### 2.6.2 *Agente causal*

El agente causal de la Marchitez por *Fusarium* en bananos es *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* y posee la siguiente clasificación taxonómica

Reino	:	<i>Hongos</i>
División	:	<i>Eumycota</i>
Sub-división	:	<i>Ascomycota</i>
Clase	:	<i>Ascomycetes</i>
Sub clase	:	<i>Sordariomycetes</i>
Orden	:	<i>Hypocreales</i>
Sección	:	<i>Elegans</i>
Familia	:	<i>Nectriaceae</i>
Género	:	<i>Fusarium</i>
Especie	:	<i>Fusarium oxysporum</i>
	:	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cubense</i> W.C. Snyder & H.N. Hansen

Fuente: (Agrios 2005; Fourie et ál. 2011)

### 2.6.3 *Biología de Fusarium oxysporum f. sp. cubense*

*Fusarium* es considerado como uno de los más adaptables y versátiles géneros de la división *Eumycota* (Fourie et ál. 2011) y *Fusarium oxysporum* es actualmente considerada un complejo de especies y no una especie compleja como se llamaba anteriormente (O'Donell et

ál. 2009). La terminología de *formae specialis* (f. sp.) no fue más que una forma de discriminar variantes de *Fusarium oxysporum* capaces de infectar diferencialmente sus hospedantes, pero morfológicamente similares (Synder y Hansen 1940), pues dentro de *F. oxysporum* más de 100 *formae specialis* con hospedantes específicos y un gran número de saprófitos (Kistler 1997; Leslie y Sumerell 2006). Las *formas especiales* se dividen en razas patogénicas según la patogenicidad específica de sus componentes sobre un grupo de líneas o cultivares diferenciadores de la planta hospedante.

*Fusarium oxysporum* produce tres clases de esporas: microconidias, macroconidias y clamidosporas (Figura 3). Las microconidias, son generalmente unicelulares, hialinas, elipsoidales, cilíndricas; tienen un tamaño de 5 – 12 µm de largo 2.5 – 3.5 µm de ancho. Las macroconidias son de paredes delgadas, fusiformes, largas, moderadamente curvadas en forma de hoz, con varias células y tienen un tamaño de 27 a 46 µm de largo por 3.0 a 4.5 µm de ancho. Las clamidosporas, que son formadas a partir de la condensación del contenido de hifas o conidias, tienen paredes gruesas y su tamaño varía de 5 a 15 µm de diámetro (Nelson 1981). Las paredes gruesas y la propia composición de las clamidosporas las hace muy resistentes a condiciones ambientales desfavorables en la ausencia de hospedantes. Distintas formas especiales de *Fusarium oxysporum* pueden sobrevivir en un estado de reposo en el suelo durante muchos años y son viables después de cuarenta años (Nelson 1991; Stover et ál. 1960).

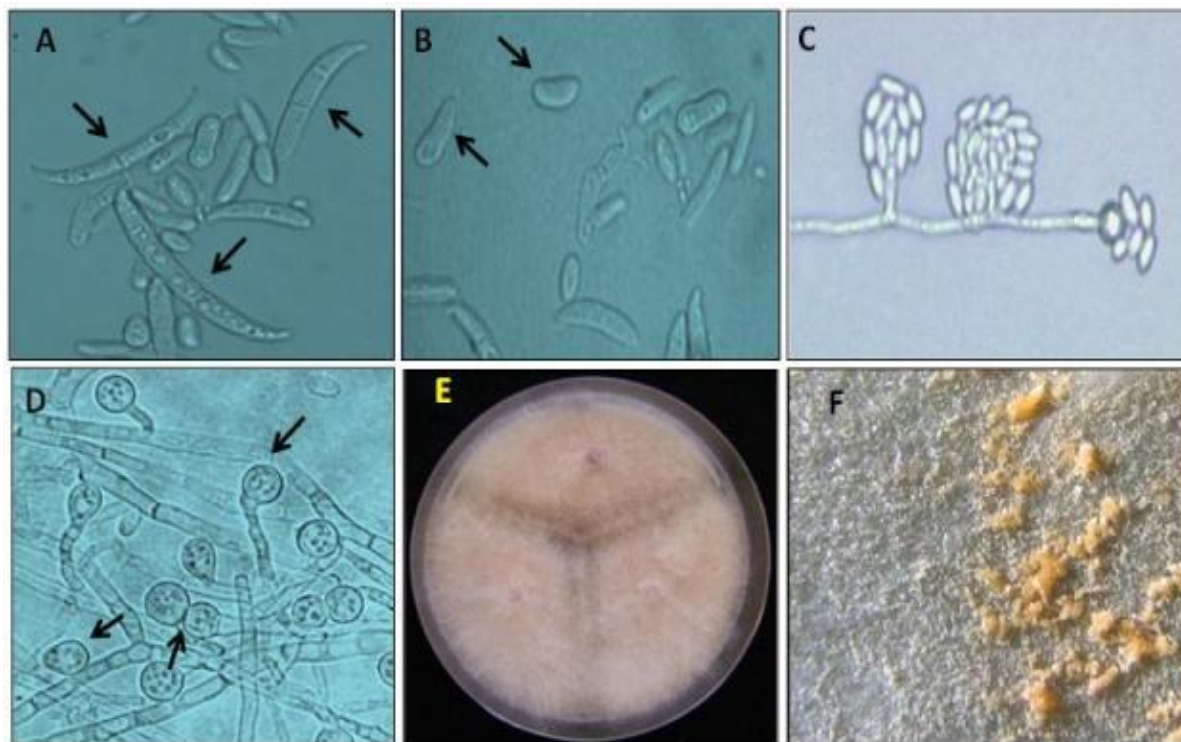


Figura 3. Estructuras reproductivas de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. **A.** Macroconidios (Poseen longitud 27 - 55 x 3.3 - 5.5  $\mu$ m, 4- 8 formato de hoz, con células basales en forma de pié). **B.** Microconidios (Poseen longitud de 5 - 16 x 2.4 - 3.5  $\mu$ m, 1 o 2 células, ovales en forma de riñón). **C.** Fialides y microconidios agrupados en falsas cabezas. **D.** Clamidosporas (Poseen de 7 - 11  $\mu$ m diámetro, usualmente globosas formadas individuales o en cadenas). **E.** *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* raza 4 tropical en medio de cultivo PDA. **F.** Esporodóquios de color naranja formado en la superficie medio de cultivo PDA (Fotos: M.A. Dita y L. Pérez-Vicente).

La complejidad de *F. oxysporum* está también presente dentro de las *forma especiales*. En Marchitez por *Fusarium* han sido identificadas 21 Grupos de Compatibilidad Vegetativa (VCG – del inglés Vegetative Compatibility Groups), por lo menos ocho linajes (que consisten en genotipos estrechamente relacionados con su grupos de compatibilidad vegetativa VGC) (Li et ál. 2011) y 4 cuatro razas fisiológicas (Stover y Waite 1960; Su et ál. 1986; Moore et ál. 1995; Bentley et ál. 1998; Ploetz 2006; Fourie et ál. 2011).

La raza 1 de la Marchitez por *Fusarium* ataca Gros Michel (AAA), Silk y Pome (AAB), Latundan (AAB), Maqueño AAB. La raza 2 ataca a los bananos de cocción tipo Bluggoe (ABB). La raza 3 ataca a las Heliconias (Ploetz y Correll 1988) y la raza 4 que ataca los clones del sub-grupo Cavendish (Ploetz y Pegg 2000). La raza 3 no causa enfermedad a los bananos y ya no se considera parte de la estructura en las razas de la Marchitez por *Fusarium* (Ploetz, 2005b; Daly y Walduck 2006).



La raza 4 se subdividió 'tropical' (TR4) y 'subtropical' (SR4), para discriminar poblaciones diferentes de Marchitez por Fusarium que afectan a Cavendish en función de las condiciones ambientales (Viljoen 2002; Ploetz 2006). Existen poblaciones de Marchitez por Fusarium que solo afectan Cavendish en condiciones subtropicales que hasta el momento fueron agrupadas en 7 VCGs distintos (Buddenhagen 2009; Dita et ál. 2010). Ya la raza 4 tropical, que pertenece a un solo VCG (01213), es capaz de afectar Cavendish tanto en condiciones tropicales como en subtropicales (Ploetz 2006; Ploetz y Pegg 1997, 2000). Es de consenso entre los investigadores de que el sistema de razas en el patosistema Musa-Marchitez por Fusarium debe ser revisado, pues el mismo no se basa en relaciones genéticas entre el hospedante y el patógeno.

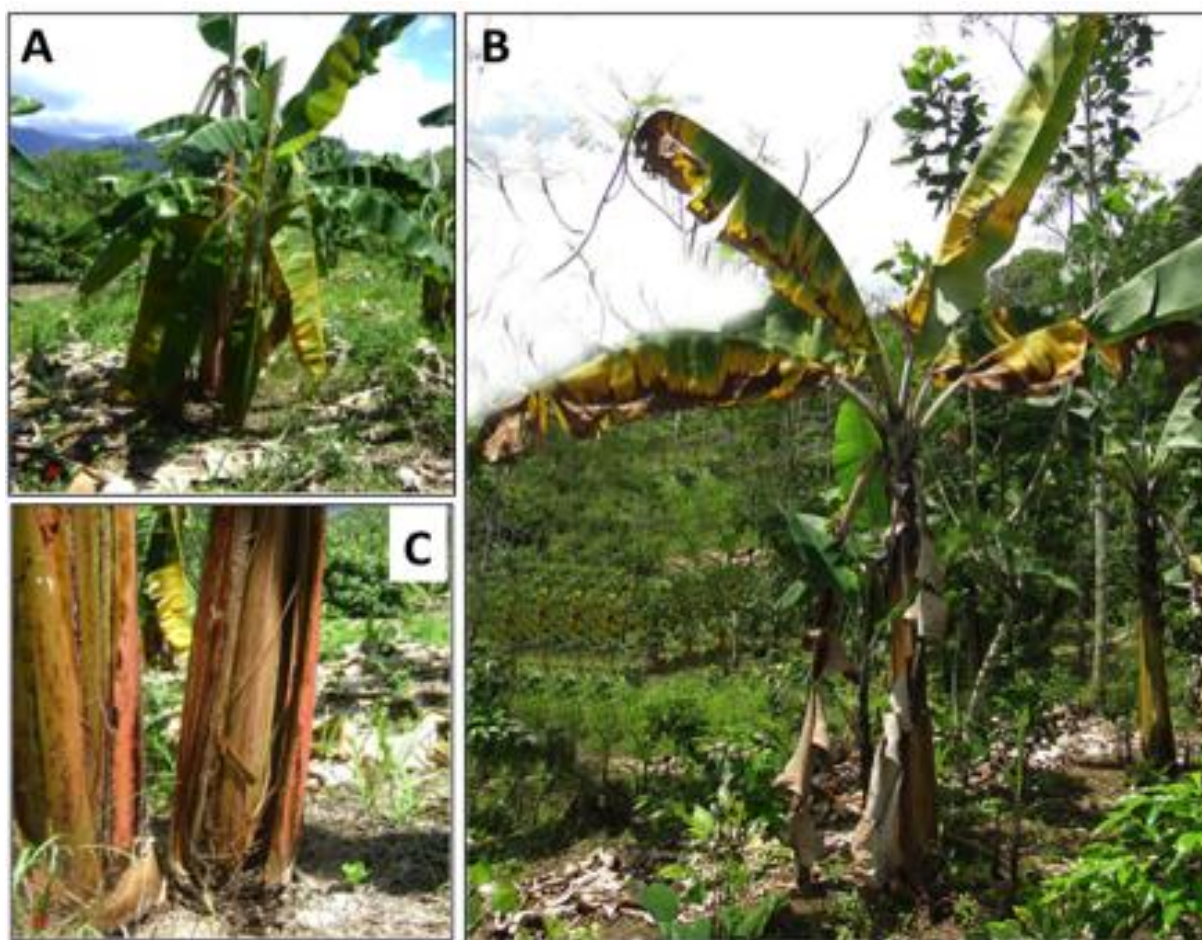
Las razas 1 y 2 están ampliamente distribuidas por el mundo, ya la raza 4 tropical se encuentra restringida al Sur de Asia y representa una gran amenaza a la industria bananera mundial. En Perú, se estima que las razas 1 y 2 estén presentes, pero no se han realizados estudios para determinar la estructura de las poblaciones de Marchitez por Fusarium presentes en el país.

#### ***2.6.4 Síntomas de la enfermedad***

La Marchitez por Fusarium del banano es descrita como una clásica enfermedad vascular (Stover 1962; Ploetz 2006). El patógeno invade la planta a través de las raíces secundarias, seguidamente coloniza y necrosa el rizoma y tejidos del pseudotallo provocando la marchitez y muerte de la planta (Stover 1962). Los primeros síntomas son la aparición de estrías verdes pálidas en la base del peciolo y la decoloración rojiza de los haces vasculares de la epidermis del peciolo.

Externamente, los primeros signos evidentes de la enfermedad en la mayoría de las variedades es la marchitez, mostrando coloración amarilla en las hojas más viejas, desde el margen hacia el peciolo, doblándose en el punto donde se unen peciolo y pseudotallo (Figura 4)

Internamente, los primeros síntomas se producen en las raíces y en el rizoma de los límites de la corteza y en el cilindro central donde hay mayor área vascular, observándose estrías necróticas de color marrón-rojizo y oscuro (Figura 5). El hongo crece a través de los tejidos para luego pasar de los vasos afectados a nuevos retoños en crecimiento. (Stover 1962; Stover y Simmonds 1987; Ploetz y Pegg 2000; Perez 2004).



*Figura 4. Síntomas externos de la Marchitez por Fusarium en bananos. A. Planta en con síntomas iniciales en proceso de marchitamiento, con presencia clorosis en las hojas inferiores que se doblan en el punto de inserción del peciolo y pseudotallo (Variedad Isla, Perú, Foto Carlos Román). B. Planta con síntomas avanzados de la enfermedad (Variedad Gros Michel, Turrialba, Foto: Miguel Dita). C. Presencia de la rajadura del pseudotallo (Variedad Isla, Perú, Foto: Carlos Román).*



*Figura 5. Síntomas internos de la Marchitez por Fusarium en bananos. A. Corte transversal del pseudotallo mostrando haces vasculares necrosados. B. Corte transversal mostrando la continuidad de la necrosis en los haces vasculares a lo largo del sistema vascular (Variedad, Gros Michel, Alto Piura, Perú, Fotos: Miguel Dita)*

## 2.7 Epidemiología de la enfermedad

Las esporas de la Marchitez por *Fusarium* en el suelo (conidias o clamidosporas) germinan y crecen hacia las raíces de las plantas de banano, en respuesta a compuestos químicos exudados de las raíces o por contacto de tejidos sanos susceptibles (Stover 1962; Ploetz y Pegg 2000; Ploetz 2006). El micelio y las conidias se producen después de 6 a 8 horas de germinación de las clamidosporas y se forman nuevas clamidosporas después de 2 a 3 días. La infección tiene lugar a través de las raíces absorbentes secundarias y terciarias, pero no de la raíz principal, a menos que haya una herida en el núcleo central de la raíz y las raíces primarias a través de los vasos del xilema antes de entrar en el rizoma. (Moore et ál. 1995; Ploetz y Pegg 1997). El patógeno pasa a la zona vascular del rizoma en los lugares de inserción de las raíces enfermas, provocando una infección en la corteza y el cilindro central del cormo por la gran cantidad de vasos xilemáticos que se encuentran (Haarer 1965; Ploetz y Pegg 2000). Las conidias se mueven a través de los haces vasculares del pseudotallo colonizando los tejidos, el patógeno se mueve del sistema vascular a la parénquima adyacente en estados avanzados de la enfermedad formando microconidios y clamidosporas que regresan al suelo cuando la planta muere (Stover 1962; Ploetz y Pegg 1997; Perez 2004; Perez y Batlle

2010). El ciclo de la enfermedad se repite cuando germinan las clamidosporas y afectan un nuevo hospedante. En caso de que la planta infectada produzca hijuelos y los mismos continúen en la unidad de producción (mata, plantón) los mismos reproducirán los síntomas de la enfermedad.

La diseminación del patógeno ocurre a través de material de siembra infectado, suelo infestado adherido a los vehículos, implementos agrícolas, calzado y a través del agua. El hongo puede moverse en distancias cortas dentro de una zona infectada de una propiedad en las herramientas agrícolas, movimiento de la tierra, escorrentía del agua superficial, sustrato elaborado con suelo contaminado y sedimentos depositados por erosión (Davis 2005; Daly y Walduck 2006; Pocasangre et ál. 2010).

Independientemente de la forma de dispersión (natural o artificial) la Marchitez por *Fusarium* puede dispersarse a través de material vegetal (material de siembra, partes de plantas contaminadas), suelo y agua. Se acredita que vientos acompañados de lluvia podrían dispersar Marchitez por *Fusarium*, pero se carece de estudios que confirmen esta hipótesis. La formación de esporodóquios (masas de conidios) de FOC TR4 fue confirmada en condiciones de invernadero (Dita, sin publicar), pero estas estructuras no han sido relatadas aún en condiciones de campo. En lugares secos donde el viento pueda arrastrar partículas de suelo (polvo) contaminado el viento también podría ser un vehículo de dispersión de Marchitez por *Fusarium*.

### ***2.7.1 Dispersión en material vegetal***

La dispersión de la Marchitez por *Fusarium* ya sea local (dentro de la finca) o a grandes distancias (otras fincas, regiones o países), ocurre principalmente de manera artificial mediante el traslado y siembra de hijos visiblemente asintomáticos pero que ya están infectados. Hay posibilidades que 100% de los hijos estén infectados, por lo que todos los hijos provenientes de una planta enferma son potenciales fuentes de inóculo y consecuentemente vías de dispersión artificial. Marchitez por *Fusarium* también puede dispersarse en materiales de propagación infectados, visiblemente asintomáticos, de otros hospedantes, por ejemplo *Heliconia* spp. Tejidos de pseudotallos y hojas de plantas afectadas pueden también ser vías de dispersión de FOC. Es frecuente que hojas y pseudotallos sean utilizados para el acondicionamiento o embalaje de bananos que son transportados de un lugar a otro. Estos tejidos si infectados deben ser considerados como vías de dispersión de FOC.

### **2.7.2 *Dispersión a través de suelo***

La Marchitez por *Fusarium* puede dispersarse por movilización de suelo contaminado de manera natural y/o artificial. La vía natural ocurre a través del arrastre de suelo provocado por las lluvias o por o por el viento. La vía artificial está relacionada al suelo adherido a implementos agrícolas, vehículos, zapatos y ropas.

### **2.7.3 *Dispersión a través del agua***

*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* puede dispersarse de manera eficiente a través del agua de riego o agua de escorrentía tras las lluvias, así como en el curso de ríos cuyo cauce corra entre áreas con presencia de la plaga y áreas libres. Si se utilizara agua de un reservorio contaminado con Marchitez por *Fusarium* para irrigar áreas libres, el patógeno podría dispersarse rápida y eficientemente. En estos tipos de patosistemas faltan estudios epidemiológicos que ayuden a comprendan los efectos de factores del medio ambiente, del hospedero y del manejo agronómico, ya que de acuerdo a Zadoks y Schein (1979), la intensidad de una enfermedad es el resultado de las interacciones de estos factores. El identificar estos factores permite el dominio de riesgo tanto ambientales y técnicos; además opciones de manejo para disminuir la intensidad del patógeno.

## **2.8 Estrategias de manejo de la enfermedad**

El Manejo Integrado de la enfermedad (MIE) implica una cuidadosa consideración de todas las técnicas disponibles para el control del patógeno, mediante una serie de principios y procedimientos o acciones con el fin de eliminar, reducir o atenuar los daños y/o pérdidas causados por el patógeno (Sanabria 2010). Manteniendo a los productos fitosanitarios y otras formas de intervención en niveles económicamente justificables que reduzcan o minimicen los riesgos para la salud humana y el ambiente. El MIE, pone acento en el desarrollo de un cultivo sano, con la menor alteración posible del agro ecosistema, y apoya los mecanismos naturales de control de patógenos (Marín 1996; Altieri 1999; Sanabria 2010). El manejo efectivo de la enfermedad se basa en evasión, exclusión y erradicación de los agentes causales (patógeno), así como la protección o el desarrollo de la resistencia de las plantas hospederas y el tratamiento de las plantas afectadas (Rutherford y Kangire 2000; Ploetz 2010). Sin embargo,



existen prácticas culturales que han evitado el ingreso del patógeno, como la implementación del uso de las plantas certificadas provenientes de cultivos de tejidos, como también el uso de semilla sana a la hora de la plantación. La aplicación de materia orgánica en la resiembra o en el desarrollo de la plantación lo cual aporta microorganismos antagónicos contra Marchitez por Fusarium, pero no es una práctica que garantiza el control. Las prácticas culturales en el caso de la Marchitez por Fusarium están enmarcadas a fortalecer el vigor de las plantas y crear condiciones desfavorables para el desarrollo del patógeno en el suelo (Jones 2000; Nash 2007; Ploetz 2010).

En el control biológico se ha enfatizado el uso de microorganismos antagonistas. Hongos y bacterias, especialmente de los géneros *Tricoderma*, *Gliocadium*, *Verticillum*, *Pseudomonas*, han demostrado efecto en la disminución del daño de la Marchitez por Fusarium (Perez et ál. 2009). El éxito de estos agentes de control biológico es la reducción de poblaciones de patógenos, puede darse directamente por la competencia por nutrientes o nichos, el parasitismo, o mediante la inducción de resistencia de los hospederos (Rutherford y Kangire 2000; Riveros, 2010). No obstante, el uso de variedades resistentes es considerado como el método más efectivo para el combate de la Marchitez por Fusarium y en esto se basan los programas de mejoramiento genético (Rowe 1998; Amorím et ál. 2011). La estrategia de control involucra el sistema vivo, dinámico y complejo, que representa la población del patógeno. En otras palabras, el control de Marchitez por Fusarium, es un problema de biología de su población, ahí se tratara de controlar el tamaño y composición genética de la población del patógeno, a fin de mantenerla a niveles tales que las pérdidas económicas asociadas sean aceptables por el agricultor, lo cual implica que se trataría de permitir (soportar) una cierta cantidad de enfermedad. Este hecho justifica la necesidad de los análisis de epidemiológicos como una herramienta para evaluar el control (Marín 1996). Para el manejo integrado de la enfermedad, se deben tomar en cuenta los métodos y aspectos epidemiológicos de la enfermedad antes mencionados. En lugares donde la enfermedad está presente y no sea posible sustituir la variedad por variedades resistentes se debe trabajar en la reducción de la fuente de inóculo con un adecuado manejo de plantas enfermas, uso de material de siembra sano, enriquecimiento del suelo con materia orgánica, e implementar prácticas que mejoren drenaje del suelo. El éxito de estas medidas dependerá principalmente del conocimiento detallado de: a) las prácticas empleadas en cada finca, b) las características del sistema de producción utilizado y c) de las condiciones agroecológicas del área.

### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Ubicación y descripción de la zona de estudio

El estudio se desarrolló en el distrito de San Luís de Shuaro, provincia de Chanchamayo, ubicado en el departamento de Junín - Perú, a 187 km de Lima, ciudad capital. El distrito tiene una extensión de 177.41 km<sup>2</sup>, correspondiente a un 3.75% del territorio de la provincia de Chanchamayo. La población es de 6 977 habitantes, con una densidad de 40.5 habitantes/km<sup>2</sup>. El sector rural corresponde a 86% de la población, cuya actividad principal es la agricultura. (INEI 2011).

La altitud del distrito varía desde los 700 metros sobre el nivel del mar (msnm) hasta los 1930 msnm. Se encuentra a: 10°53'0" latitud sur y: 75°18'00" longitud oeste. Sus límites son: al Norte con el distrito de Villa Rica, al Sur y Oeste: el distrito de Chanchamayo y al Este el distrito de Pichanaki (Figura 6).

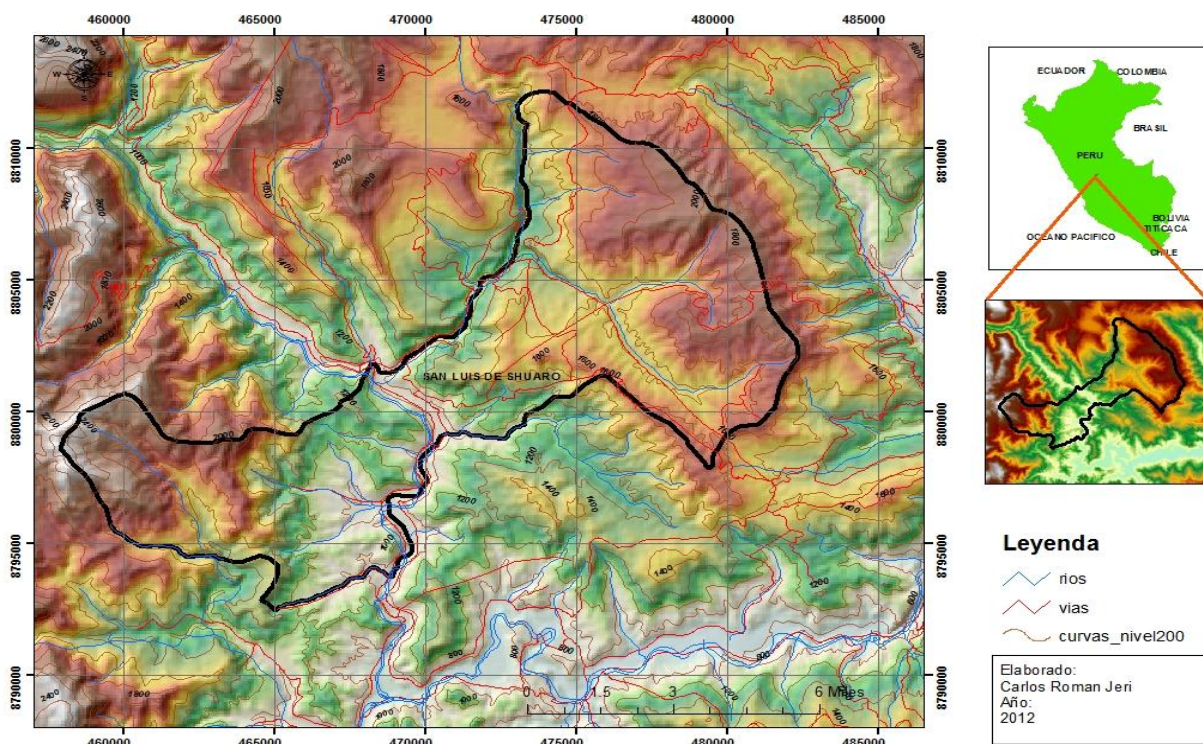


Figura 6. Mapa del Distrito de San Luís de Shuaro. Información de la Cartográfica (curvas de nivel, ríos, vías) del Instituto Geofísico Nacional del Perú el modelo de elevación obtenidos de imágenes de RADAR con 90 m de resolución obtenidos de la página de la NASA. (Fuente: <http://www.igp.gob.pe/index.html>; <http://www.nasaimages.org/>).

La topografía del distrito es ondulante y quebrada, con colinas altas y bajas, laderas estructurales y mesetas. Durante el año se presentan, derrumbes, deslizamientos de agua y tierra e inundaciones que provocan erosión (MPCH 2011). El distrito se encuentra en las zonas ecológicas de Bosque Húmedo Premontano Tropical, Bosque Muy Húmedo Premontano Tropical y Bosque Muy Húmedo Montano Bajo Tropical. La precipitación media anual de 1500 mm y la temperatura promedio de 23 °C. Es considerado como selva alta (MPCH 2011).

El distrito se caracteriza por que la mayor parte de su población se encuentra disgregada en el área rural. Considerando la Población Económicamente Activa (PEA), el distrito se clasifica como zona agrícola, ya que 6,519 habitantes viven en las zonas rurales. San Luís de Shuaro a la fecha se encuentra dividido en 3 microcuencas que son Paucartambo, Sanchirio de Yapaz y Quebrada de Puñizas, en las cuales se encuentran caseríos, anexos y centro poblados menores en un total de 36 (Cuadro 2).



*Cuadro 2. Microcuencas del distrito de San Luís de Shuaro con sus respectivos sectores*

*(Fuente: Oficina de Desarrollo Agropecuario San Luís de Shuaro, 2011)*

Distrito de San Luís de Shuaro			Población total	N° vivienda
Microcuenca Paucartambo	Pueblo	San Luís de Shuaro	721	144
	Caserío	Puente Capelo	277	55
	Caserío	Río Seco	544	112
		Río Seco Alto	281	56
	Caserío	Purrayo	131	26
	Anexo	Nueva Industria	211	42
	Anexo	Santa Cruz	73	15
	Anexo	Belén	41	8
	Anexo	Ramazú	62	12
	Anexo	Río Dolores	181	36
	Anexo	Vista Alegre	62	12
	Anexo	Unión Andahuaylas	234	47
	Anexo	San Luis Alto	82	16
	Anexo	Playa Pampa	71	14
	Total microcuenca			2987
Microcuenca Puñizas	Caserío	Santa Rosa de Yapaz	149	30
	Anexo	Santa Rosa de Puñizas	145	29
	Anexo	Zona 8	12	2
	Anexo	Mariscal Castilla	332	66
	Anexo	Santa Rosa Palomar	217	43
	Anexo	Las Cascadas Palomar	132	26
	Anexo	Zona 17	118	24
	Anexo	Puente Paucartambo	131	26
	Anexo	San Francisco de Asís	181	36
Total microcuenca			1417	283
Microcuenca Sanchirio Yapaz	Anexo	Sanchirio Palomar	291	78
	Anexo	Centro Unión Palomar	191	38
	Anexo	Alto Unión Palomar	81	16
	Anexo	Las Terrazas	281	56
	Anexo	Yapáz Bajo	419	84
	Anexo	Unión Palomar	294	59
	Anexo	Santa Herminia Baja	471	94
	Anexo	Santa Herminia Alta	206	41
	Anexo	San Francisco de Yapaz	274	75
	Anexo	CC.CC. Mayme	81	16
Total microcuenca			2789	558
Total			6977	1439

### **3.2 Descripción general del proceso metodológico**

La investigación contempló tres etapas (Figura 7), las cuales se detallan a continuación:

Etapa I: Estudio de línea base.

Esta etapa consistió en la compilación de informaciones sobre el distrito de San Luís de Shuaro, ubicación e identificación de actores claves y fincas donde desarrollar la investigación. Adicionalmente, se realizó la revisión de literatura sobre el tema de investigación que sirvió de base para la elaboración de preguntas de investigación y el diseño del proceso metodológico.

Etapa II: Desarrollo de la investigación por objetivo planteado.

Objetivo 1. Caracterización de los sistemas de producción de banano en el distrito en estudio. Consistió en recolectar información mediante encuestas semi - estructuradas aplicadas a los propietarios de las fincas seleccionadas (Anexos 1 y 2).

Se caracterizaron los componentes biofísicos del agro-ecosistema de las fincas seleccionadas, determinando el grado de conocimiento de la enfermedad y las acciones de manejo que viene ejecutando el productor dentro de su finca. Se enfatizó en recolectar información sobre el manejo del material de siembra y de los criterios que se toman en cuenta para su selección y utilización en la finca. Inicialmente, se realizó una encuesta sencilla validada con los productores de la zona. Para seleccionar las fincas de banano se cuadrículó, con la ayuda del programa ARCGis (Versión 10), todo el distrito de San Luís de Shuaro. En cada uno de los 200 cuadrantes obtenidos se seleccionó una finca para tomar la respectiva encuesta (Figura 8).

Objetivo 2: Diagnóstico de la distribución e intensidad de la Marchitez por Fusarium (*Fusarium oxysporum* f. sp. cubense) en fincas productoras de banano en el distrito de San Luís de Shuaro.

Con la información obtenida de las encuesta (Objetivo 1) se identificaron en cada microcuenca las fincas con presencia o ausencia de la enfermedad. Con base ésta información y a otros criterios como sistema de producción, localización geográfica y variedad utilizada, se seleccionaron un grupo de fincas para evaluar la distribución, la incidencia y la severidad de la Marchitez por Fusarium (Figura 10). Este estudio se enfatizó a demás en la identificación de

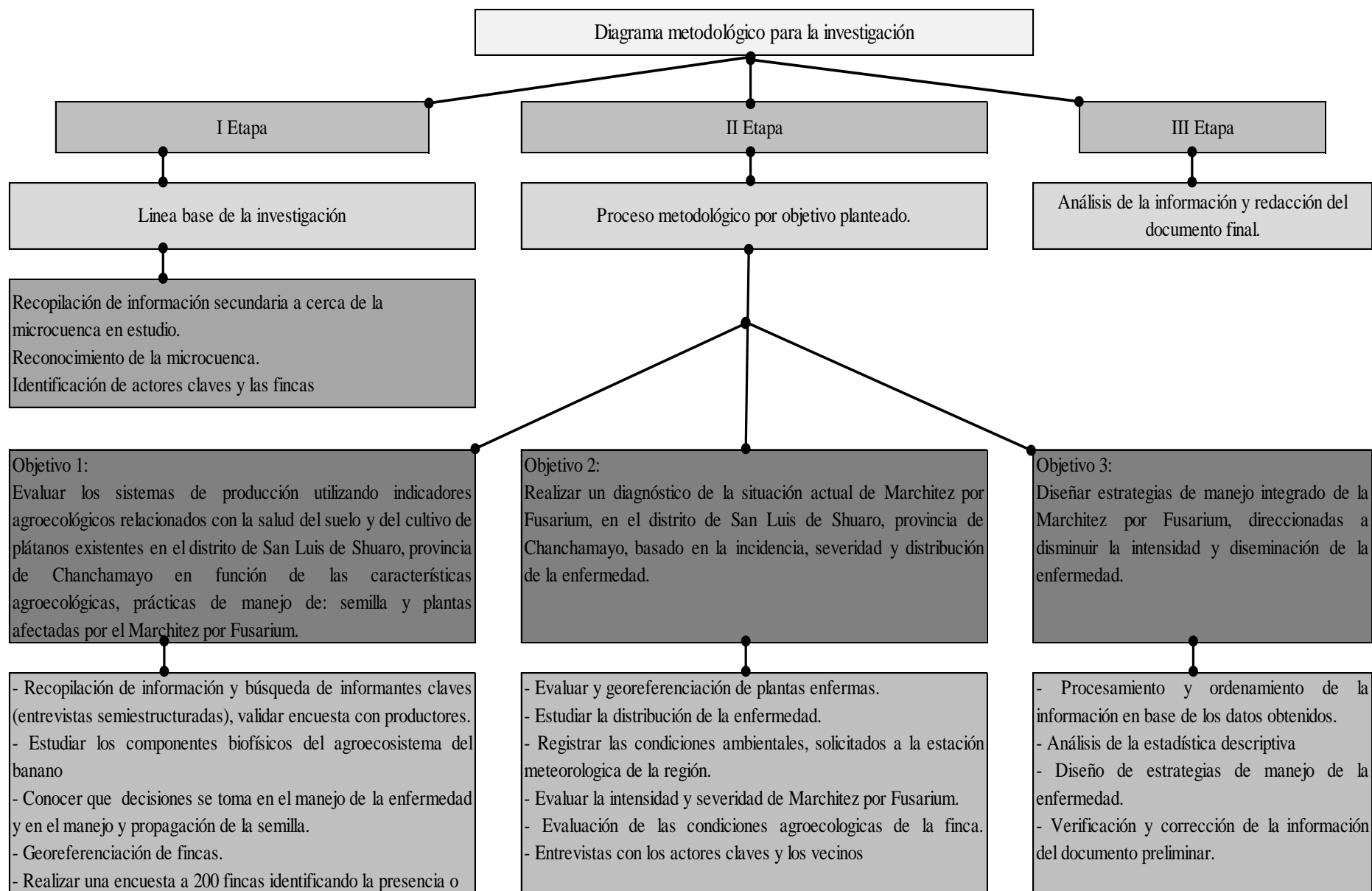


Figura 7. Diagrama representativo del proceso metodológico para el desarrollo de la investigación

factores que podrían estar relacionados con el desarrollo y la distribución de la enfermedad (Anexo 3).

Objetivo 3: Diseño de estrategias de manejo integrado de la Marchitez por Fusarium del banano en fincas del Distrito San Luís de Shuaro.

En esta etapa se organiza, sistematizó y analizó la información obtenida de todas las fuentes se diseñaron estrategias del manejo integrado de la enfermedad.

Etapa III: Elaboración del documento de la tesis

### **3.3 Metodología para el objetivo I**

#### ***3.3.1 Caracterización de los sistemas de producción en fincas productoras de banano en el distrito de San Luís de Shuaro, provincia de Chanchamayo, Perú***

La caracterización de los sistemas de producción se realizó en función del arreglo espacial de los cultivos, variedad de banano utilizada, cultivos de asocio, prácticas de manejo, material de siembra y plantas afectadas por la Marchitez por Fusarium (Anexo 2). Fueron utilizados además indicadores relacionados con la salud del suelo y prácticas agronómicas del cultivo de banano (Anexo 3).

#### ***3.3.2 Selección de las fincas***

Mediante el programa ARCGis (Versión 10) se cuadriculó el distrito para identificar 200 fincas productoras de bananos (Figura 8). Para tener mayor claridad de las fincas a encuestar se cruzaron informaciones del área cuadriculada del mapa físico del distrito y los datos de la microcuenca (Cuadro 2). Se seleccionaron fincas pertenecientes de todos las microcuencas y ubicadas en diferentes rangos altitudinales (700 a 1900 msnm). Fueron consideradas fincas con diversidad de arreglo de siembra como: banano de diferentes variedades en monocultivo o en asocio con cultivos perennes como café (*Coffea arabica*), cítricos (*Citrus* spp), palto (*Persea americana*) y/o cultivos anuales. Se consideró además las características de acceso durante todo el año, así como la disposición del productor(a) a contribuir con la investigación.

Se seleccionaron un total de 149 fincas para ser evaluadas. Las demás zonas fueron consideradas inaccesibles o caracterizadas por lugares montañosos de altas pendientes, característicos de la selva alta, y donde en su mayoría el hombre todavía no ha interferido (Figura 8).

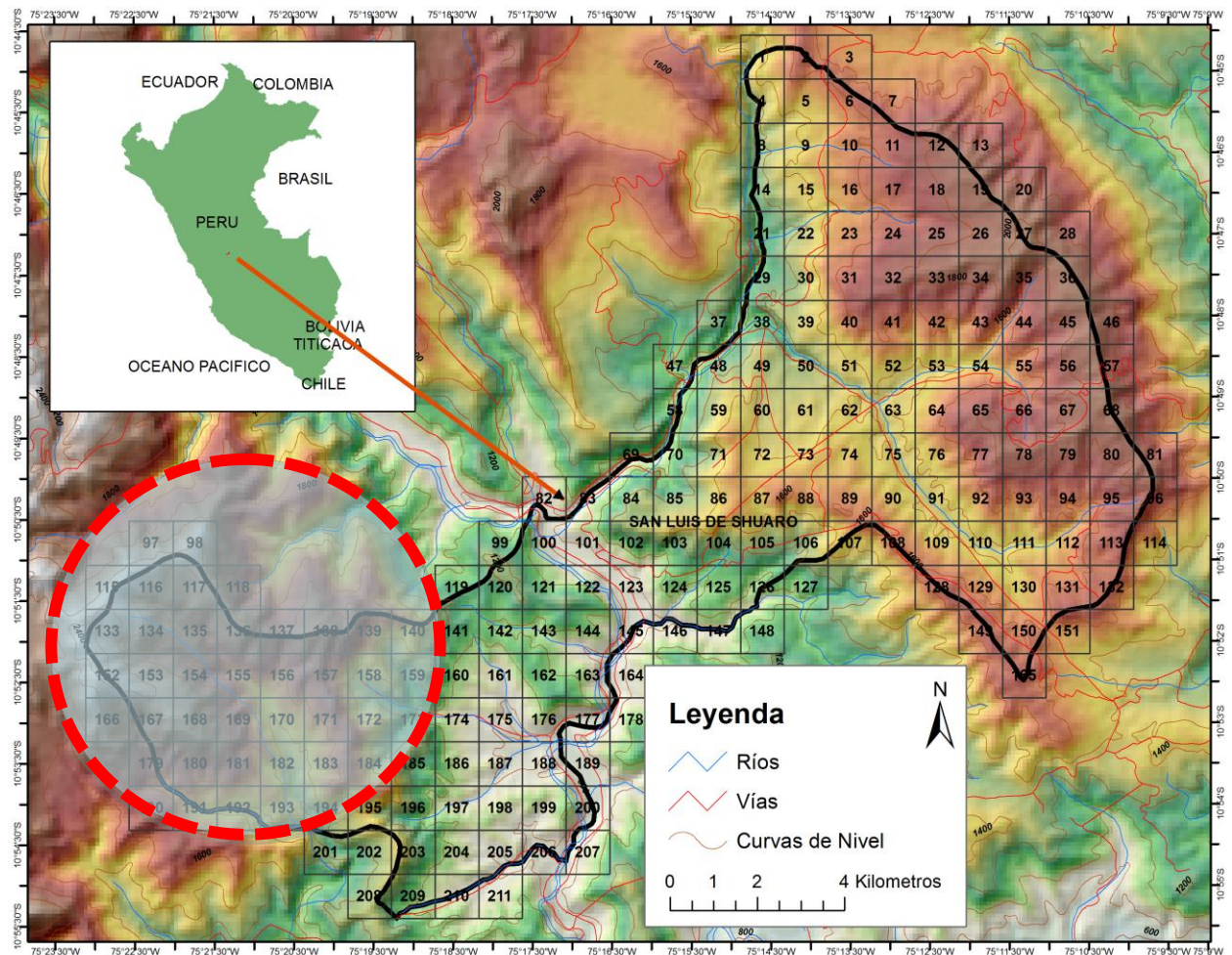


Figura 8. Mapa del distrito San Luís de Shuaro, con un modelo de terreno, mapa topográfico, curvas a nivel y cuadrículado en grids para identificar las fincas para tomar las encuestas e identificar presencia o ausencia de la Marchitez por Fusarium. La circunferencia roja representa zonas inaccesibles para la realización del diagnóstico.

### 3.3.3 Encuesta a las fincas

La encuesta aplicada (Anexo 2) fue previamente validada. Para su validación se realizó un taller con productores bananeros de la zona, que vienen ejecutando diferentes prácticas de manejo tanto al cultivo de banano como de la enfermedad de la Marchitez por Fusarium.

El procedimiento para llevar a cabo la encuesta a los productores se describe a continuación:

Una vez seleccionada la finca para la encuesta, se le envió una citación al productor indicando la hora y fecha para ser entrevistado. Además de ello se les adjuntó la información general, introducción y propósito de la encuesta (Anexo 1). Las entrevistas se realizaron durante las tardes y noches, y las fincas se inspeccionaron al día siguiente. Se recopilaban informaciones como: tipo de sistema de producción de banano, variedades, edad, manejo agronómico del cultivo, dando énfasis a las prácticas utilizadas para el manejo de la Marchitez por *Fusarium* y del conocimiento de la enfermedad de parte de los productores (Anexo 2). Con el objetivo de facilitar la identificación de la Marchitez por *Fusarium* del banano, durante la entrevista se mostró un grupo de fotografías con diferentes síntomas de la enfermedad. Para conocer el grado de afectación se utilizó la siguiente escala: No tiene (0 plantas infectadas), poco (menos de 5 plantas infectadas), mucho (más de 5 plantas infectadas). Estas informaciones se verificaron en el campo al día siguiente.

Durante el recorrido de las fincas se registró la información de posicionamiento geográfico mediante un equipo de GPS (Garmin, modelo Etrex vista HCx). En las parcelas donde había presencia de la enfermedad se tomó como referencia de la finca la primera planta observada con síntomas de Marchitez por *Fusarium*. En las parcelas donde no se observó la enfermedad se tomó como el punto de referencia en centro de la finca. La identificación de la presencia de la Marchitez por *Fusarium* fue realizada por la inspección visual de síntomas externos e internos (Stover 1972; Ploetz 2005). Para la observación de los síntomas internos se realizó un corte de forma cuadrangular en el pseudotallo a 50 cm de la base de la planta, hasta observar los tejidos de los haces vasculares (de color marrón - rojizo), que son síntomas típicos de la enfermedad (Figura 9).





Figura 9. Procedimiento para la observación de los síntomas internos de la Marchitez por *Fusarium* en banano en el distrito de San Luís de Shuaro, Perú. **A.** Introducción del cuchillo a los 50 cm de la base del pseudotallo. **B.** Tamaño y forma del corte mostrando haces vasculares necróticos, síntomas típicos de la Marchitez por *Fusarium* del banano (donde muestra la flecha).

### 3.4 Metodología del objetivo II

#### 3.4.1 Estudio de la intensidad de la Marchitez por *Fusarium* en bananos en fincas del Distrito San Luís de Shuaro y factores asociados al desarrollo de la enfermedad

Para este estudio se seleccionaron 76 fincas de las previamente caracterizadas en el Objetivo 1. Sesenta (60) de estas fincas tenían la enfermedad y 16 fueron identificadas como libres. Para la elección de las fincas se consideraron los siguientes criterios.

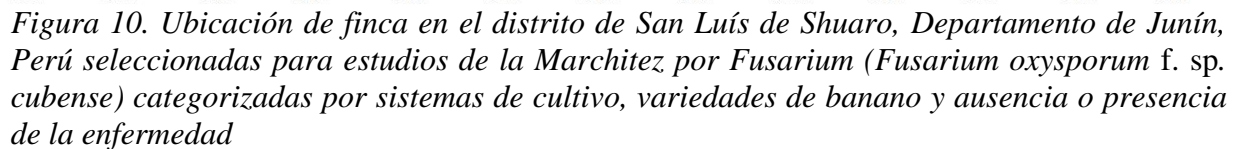
- Presencia o ausencia de la Marchitez por *Fusarium* del banano.
- Ubicación geográfica. Se objetivó cubrir la mayor parte de la zona posible y todas las microcuencas (Cuadro 2);
- Sistema de cultivo. Fueron contempladas todos los sistemas de cultivo y variedades identificadas en el objetivo 1 (Cuadro 3).

*Cuadro 3. Agrupamiento realizado con base a variedades de banano y características de los sistemas de producción para la evaluación de la intensidad y posibles factores asociados con la Marchitez por Fusarium del banano*

Variedad	Sistema de producción	Descripción
Isla	Monocultivo	Solo el cultivo Isla predomina en el sistema de producción de banano
Isla	Asociado/SAF	Variedad Isla asociado con café y con árboles como sombra
Seda	SAF	Variedad Seda, debajo de árboles, con café, palto
Mezcla de Variedades	Asociado/SAF	Mezcla de variedades Palillo, Bizcocho, Morado, Manzano, Largo, Bellaco asociado o en SAF
Isla+++	Asociado	Predominancia de la variedad Isla, con presencia de otras variedades de banano y plátano

Con el objetivo de realizar análisis comparativo para la selección de las fincas sin la enfermedad se consideró la localización geográfica de las mismas, de manera a ubicarlas en sectores donde la enfermedad estuviese presente (Figura 10).









Para la evaluación de la intensidad (incidencia y severidad) de la Marchitez por Fusarium, se realizó un muestreo sistemático evaluando el total de plantas de la finca. Cada planta enferma encontrada fue geo-referenciada y categorizada según la escala de evaluación de síntomas externos de la Marchitez por Fusarium (Cuadro 4).

$$IE = \frac{(\text{Número de plantas enfermas})}{(\text{Número total de plantas evaluadas})} \times 100$$

*Cuadro 4. Escala utilizada para evaluación de la severidad de la Marchitez por Fusarium en banano*

Grado		Descripción
	0	Visiblemente planta sana (asintomática)
	1	Plantas con sintomatología iniciales (hojas inferiores con clorosis inicial, cese de la emisión foliar)
	2	Plantas con síntomas avanzados de la enfermedad, rajadura de los pseudotallos, hojas amarillas de la parte inferior y superior que se cuelgan
	3	Planta totalmente muerta a causa de la enfermedad

Con los valores de la severidad se cálculo el índice de la enfermedad descrito por McKinney (1923), utilizando la siguiente fórmula:

$$IXE = \frac{\sum (\text{Número de plantas enfermas} \times \text{cada grado de la escala})}{(\text{Número total de plantas observadas}) \times (\text{grado mayor de la escala})} \times 100$$

### ***3.4.3 Evaluación de variables asociadas al desarrollo de la enfermedad***

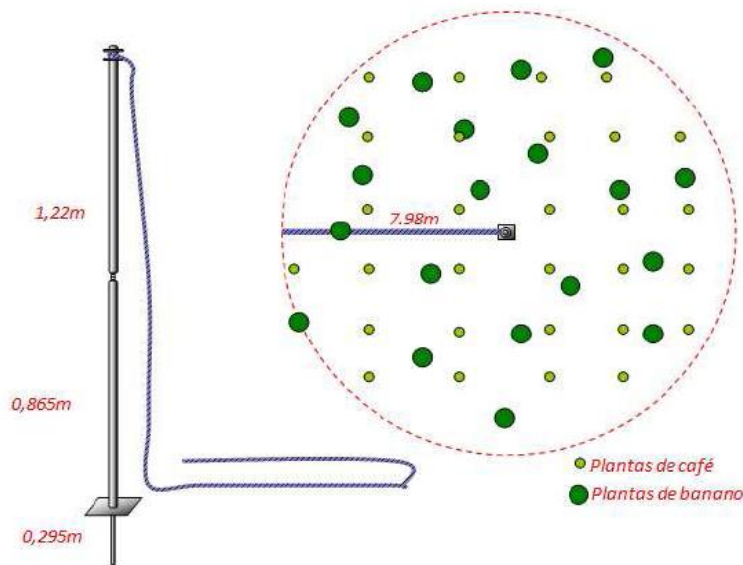
Con el objetivo de caracterizar mejor la finca e identificar variables con posible asociación con la incidencia y severidad de la enfermedad fueron evaluadas un grupo de variables (Anexo 2 y 4) haciendo énfasis en aquellas relacionadas la salud del suelo y del cultivo. La selección de estas variables respondió a criterios establecidos en estudios con

similares objetivos a los propuestos en esta investigación (Savary et ál. 1995; Avelino et ál. 2009).

Los procedimientos para el registro de estas variables se describen a continuación:

### 3.4.3.1 Densidad de plantas por hectárea

Para estimar la densidad de plantas por hectárea (DP/ha), se utilizó el método descrito por Soto (1992) y modificado (Vargas y Brenes 2009) por en el cual se traza un círculo desde un punto seleccionado al azar, con tres muestras por hectárea. Este procedimiento se efectuó con una cuerda de 7,98 m según lo recomendado por el autor. Dicha cuerda se hizo girar a partir de un punto de partida claramente identificado, y las unidades de producción de banano (UPB), dentro del círculo formado fueron contabilizadas, estimando el número de cepas en el área de la circunferencia formada (Figura 11).



*Figura 11. Ilustración del método empleado en la medición de la densidad de unidades productoras de banano por hectáreas (Tomado de Soto (1992), modificado por Brenes y Vargas (2009)).*

Una vez registradas las unidades de producción, se convirtieron los valores a número de plantas por hectáreas, según la siguiente fórmula.

$$\frac{Dp}{Ha} : \frac{UPB}{Ha} = \text{Promedio UPB} \times \left\{ \frac{10,000}{7,98^2 \times 3,14} \right\}$$

### 3.4.3.2 Porcentaje de sombra

Para estimar el porcentaje de sombra en los sistemas de banano bajo sombra se utilizó el instrumento del densiómetro esférico (Lemon 1957). Tomando cinco punto de muestreo por finca. En cada punto se realizaron cuatro (04) lecturas en cuatro (04) direcciones (paralelo al surco y perpendicular). Siendo importante que la medición enfoque a la sombra que hay arriba del banano. Para disminuir ese margen de errores se identificaron posiciones donde no había banano alrededor del punto y/o eliminando el cálculo de los cuadros en el densiómetro donde muestre las hojas del banano (Comunicación personal con el Dr. Jacques Avelino).

Tomando en cada lectura el número de cuartos con sombra, y el número total de cuadros evaluados (el máximo es 24, pero podrían ser menos si no se evalúan los que tienen sombra de banano), y teniendo el apoyo del contador.

Para el cálculo del porcentaje (%) de sombra de cada punto, se utilizó la siguiente formula:

$$\% \text{ de Sombra} = \frac{\text{Número total de cuartos con sombra}}{\text{Número total de cuadrados evaluados}} \times 100$$

Seguidamente se promediaron los datos de los 5 puntos para tener el % de sombra promedio por finca.

### 3.4.3.3 Evaluación de la acidez del suelo (pH)

Las evaluaciones de pH se realizaron mediante el uso de un pH - Metro, digital (modelo KCB-300), (Figura 12). Las mediciones se realizaron a 20 cm aproximadamente de la planta madre, evitando daños a la raíz, tratando de introducir la sonda en zonas de mayor concentración de raíces. Los valores pH obtenidos fueron comparados con los obtenidos en análisis de suelo realizados por productores.



*Figura 12. pH metro digital modelo KCB-300 utilizado para medir la acidez del suelo (pH).*

#### **3.4.3.4 Inclinação de la pendiente y orientación del vértice**

Para la medición de la pendiente y la orientación del vértice se utilizó un clinómetro, tomando las lecturas de la pendiente del terreno desde la parte central del terreno. Primero se calibró el clinómetro a 0 con la ayuda de otro compañero, tomando como referencia su frente. Seguidamente se ubicó a favor de la pendiente aproximadamente a tres metros para tomar el porcentaje de la inclinación y la orientación del vértice.

#### **3.4.3.5 Indicadores de calidad de suelo y salud del cultivo**

Para los indicadores de suelo y salud del cultivo (Anexo 4) se tomaron los criterios establecido por Altieri et ál. 2002. Se evaluaron a 10 plantas de banano al azar, en el estado fenológico de floración o en la fase de llenado del racimo.

Prácticas de manejo de la enfermedad con énfasis en Marchitez por Fusarium

Se obtuvo información sobre prácticas de manejo de la enfermedad, entre ellas: preparación de semilleros, selección de hijuelos con base en su procedencia, encalado el suelo, desinfección de hijuelos, desinfección de herramientas, deshije, fertilización orgánico o

inorgánico, control biológico, uso de coberturas, drenajes, destronque, análisis de suelo y foliar, control de malezas, eliminación de plantas enfermas, manejo de lixiviados, uso extractos de plantas, ceniza, biofermentos, entre otros (Anexo 2). También se evaluó el conocimiento de la enfermedad por parte de los productores mediante preguntas (Anexo 2), algunas de las cuales se describen a continuación:

1. ¿Conoce la enfermedad?
2. ¿Describe los síntomas?
3. ¿Realiza algún tipo de control?
4. ¿Desde cuándo ha visto la enfermedad?
5. ¿En qué variedad de banano se presenta más?
6. ¿En qué lugares cercanos ha visto los mismos síntomas?
7. ¿Cómo compra su semilla, con qué criterio selecciona la semilla?

En las fincas seleccionadas como muestra se aplicó una entrevista, para conocer y estudiar los agroecosistemas, la presencia de Marchitez por *Fusarium* y el manejo de la enfermedad de acuerdo con los criterios previamente establecidos (Anexo 2).

### **3.5 Metodología para el objetivo III**

#### ***3.5.1 Diseño de estrategias de manejo de la Marchitez por *Fusarium* en banano en fincas del Distrito San Luís de Shuaro***

Se realizó un análisis integrado de los resultados de los objetivos 1 y 2, identificando los factores y/o prácticas de manejo con mayor posibilidad de éxito en el manejo de la enfermedad en la zona de estudio. Fueron considerados tanto aspectos técnicos como de factibilidad de adopción de acuerdo a la tipología del productor. Los criterios técnicos fueron direccionados a:

1. Reducir la dispersión del patógeno de áreas contaminadas a áreas libres
2. Eliminar o reducir el inóculo primario.
3. Disminuir la tasa de infección y desarrollo de la enfermedad.

Posteriormente, los resultados del análisis integrado fueron confrontados con informaciones de la literatura con el objetivo de consolidar las estrategias diseñadas para el manejo integrado de la enfermedad.

### **3.6 Compilación y análisis de datos meteorológicos del Distrito de San Luís de Shuaro, Departamento Junín, Perú**

Se obtuvieron los datos de temperatura máxima y mínima, precipitación y humedad relativa de la zona en estudio a través de la estación meteorológica de la región SENAMHI, Perú. Se calculó el promedio anual de los datos de temperatura y precipitación a partir del promedio mensual de temperatura y precipitación acumulativa del Wordclim con una base de registro de 50 años (1950-2000) con una resolución espacial de un 1 km (datos del clima mundial <http://www.worldclim.org/tiles.php?Zone=23>). La información Cartográfica (curvas de nivel, ríos, vías) se ha obtenido del Instituto Geográfico Nacional del Perú (IGN) (<http://www.igp.gob.pe/index.html>) y el modelo de elevaciones digital (DEM) de 90 m de resolución obtenidos de la página de la NASA (<http://www.nasaimages.org/>).

Los datos de temperatura y precipitación fueron analizados con el objetivo de verificar una posible relación con la intensidad y distribución de la enfermedad.

### **3.7 Análisis de datos**

El análisis de la información se realizó a través de estadística descriptiva de las variables de altitud y área de producción, agrupando las fincas en función de características biofísicas. Para determinar qué variedades son más usadas se realizó un análisis de tablas de frecuencia; se usaron métodos gráficos de barras apiladas para evaluar la distribución de variedades en cada sistema de producción.

Para probar hipótesis sobre la asociación entre las características de manejo agronómico y los diferentes sistemas de producción de banano se realizaron tablas de contingencias y ordenamientos mediante el análisis de correspondencias simples y múltiples.

Para determinar la susceptibilidad de las variedades de banano a la Marchitez por Fusarium se realizaron tablas de frecuencia y a partir de ellas se calculó el número de fincas donde la variedad fue encontrada enferma sobre el número total de fincas donde la variedad esta presente. Seguidamente se usó gráfico de barras apiladas para conocer su distribución en los sistemas de producción de banano. También se usaron las tablas de frecuencia para determinar los factores bióticos y abióticos que confunden los productores a la enfermedad y la situación actual de la enfermedad en el distrito de San Luís de Shuaro.

Para determinar qué prácticas utilizaron los productores a la Marchitez por Fusarium se realizaron tablas de frecuencia para conocer el valor de cada una de las actividades. Luego se probaron hipótesis mediante las tablas de contingencias con el fin de evaluar la asociación entre prácticas de manejo y la presencia o ausencia de la enfermedad. Luego, se usó un análisis de correspondencia para visualizar las prácticas con la presencia y/o ausencia de Marchitez por Fusarium. Con la base de los 149 productores, se realizó un análisis multivariado de conglomerado tomando en cuenta como criterios de clasificación a las variables sistema de producción de banano y las prácticas de manejo en el control de la Marchitez por Fusarium. Se utilizó el método de agrupamiento de Ward y la distancia obtenida a partir del coeficiente de similaridad de Jaccard.

Las variables de características agroecológicas, acidez del suelo (pH), porcentaje de sombra (% somb), inclinación, orientación del vértice y densidad de plantas y su relación con los sistemas de producción de banano, se analizaron mediante graficos biplot obtenidos por análisis de componentes principales. Para determinar y visualizar la asociación que existe entre los indicadores de calidad de suelo y salud de la planta entre los sistemas de producción de banano, se utilizaron análisis de correspondencia. Una vez determinadas las fincas con presencia de la enfermedad (60) y sin presencia de la enfermedad (16), estas se agruparon en 5 grupos de diferentes según las variedades de banano (Cuadro 3). Con la incidencia se categorizó en cuatro grados la Marchitez por Fusarium. Seguidamente se realizó la correlación entre la incidencia y severidad, mediante el análisis de correlación de Pearson ( $p < 0,05$ ). Luego se probaron hipótesis mediante tablas de contingencias, con el fin de asociar los sistemas de producción y los grupos de variedades de banano entre las categorías de la incidencia de la Marchitez por Fusarium. Para observar si existen diferencias estadísticas entre microcuencas del distrito en relación a la presencia de la enfermedad, se realizaron análisis de varianza. Para conocer qué factores agroecológicos (acidez del suelo (pH), porcentaje de sombra (%somb), inclinación, orientación del vértice y densidad de plantas) están asociados con el desarrollo de la enfermedad se realizó el análisis de correlación de Pearson entre la incidencia (%) de Marchitez por Fusarium y las variables de los factores agroecológicos (Cuadro 12).

Se realizaron tablas de contingencia para relacionar las prácticas de manejo que ejecutan los productores con las cuatro categorías de la incidencia de la Marchitez por Fusarium (estadístico chi cuadrado máximo verosímil). Se identificaron qué factores están



relacionados con el desarrollo de la enfermedad para tener una jerarquía de ello con el fin de proponer estrategias de manejo para su control.

Para determinar las interacciones de los factores que inciden el desarrollo de la enfermedad de la Marchitez por *Fusarium*, se realizó un análisis de todos los factores porcentaje de sombra (%Somb), pH, indicadores de suelo y sanidad del cultivo y prácticas de manejo sobre la enfermedad asociadas a la intensidad de la Marchitez por *Fusarium*. Antes de proceder con dicho análisis, los indicadores de calidad de suelo y salud de la planta, pH, porcentaje de sombra, se agruparon en tres categorías (Cuadro 13). Con base en los indicadores de calidad de suelo y salud del cultivo que mostraron asociación significativa con la incidencia de la Marchitez por *Fusarium* de las 76 fincas analizadas mediante tablas de contingencias, se realizó un análisis de conglomerado con el método de agrupamiento Ward y distancia Euclídea. Para observar si existen diferencias estadísticas entre grupos del conglomerado en relación a los indicadores de suelo y sanidad de la planta se realizaron análisis de varianza multivariada.

Se analizaron todas las variables categorizadas (pH, %sombra), conglomeradas de los indicadores de suelo y sanidad de la planta, manejo de las prácticas a la marchitez por *Fusarium* entre las categorías de incidencia de la Marchitez por *Fusarium*, mediante las tablas de contingencias para probar hipótesis de asociación para conocer donde se presenta mas la incidencia de la enfermedad y que factores están asociados para su desarrollo, luego se visualizó en un análisis de ordenamiento mediante el análisis de correspondencias simples y múltiples. Para el diseño del manejo de la Marchitez por *Fusarium* se construyo con los resultados de los objetivos 1 y 2. Toda la información obtenida mediante las entrevistas holísticas que se realizaron en las fincas fue transcrita a una base de datos en Excel. Posteriormente esta base de datos fue exportada al programa InfoStat para ser analizado mediante estadística descriptiva. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software InfoStat ®/Profesional versión 2012 (Di Rienzo et ál. 2012; Balzarini et ál. 2008).



## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Caracterización de los sistemas de producción en fincas productoras de banano en el distrito de San Luís de Shuaro, provincia de Chanchamayo, Perú

#### 4.1.1 Selección de fincas y características del sistema de producción

Fueron identificadas un total de 149 fincas con condiciones de ser evaluadas y que están distribuidas en tres microcuencas del distrito San Luís de Shuaro (Figura 13). Hubieron zonas con dificultades de acceso que no fueron incluidas en el estudio. El análisis de las encuestas reveló que existen cuatro principales sistemas de producción en la región con áreas de producción, variando de 0,5 – 8 ha con pisos altitudinales de 700 a 1700 m.s.n.m. (Cuadro 5). Según Ramirez et ál. (2011), el 71% de las fincas bananeras del mundo se encuentran por debajo de los 500 msnm. Considerando este aspecto, el distrito de San Luís de Shuaro representa una zona de producción diferenciada.

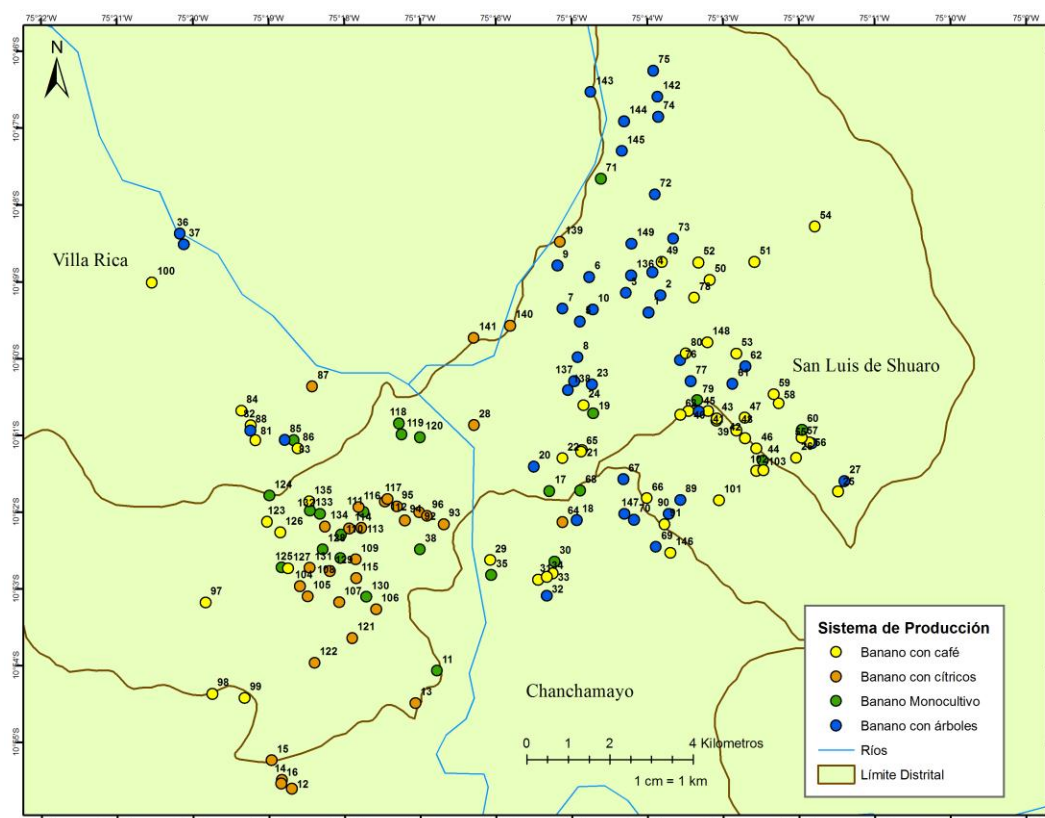


Figura 13. Mapa del distrito de San Luís de Shuaro, mostrando la localización de las fincas seleccionadas para el estudio y la distribución de los sistemas de producción de banano.

Cuadro 5. Sistemas de producción de banano presentes en el Distrito de San Luís de Shuaro

Sistema de producción	Código	Número de Fincas	Área (ha)			Altitud (m. s. n. m)		
			Media	Min	Max	Media	Min	Max
Bananos en monocultivo	BM	24	1,71	1	6	1073,13	727	1646
Bananos asociados con cítricos	BCT	32	1,34	1	2	921,53	770	1043
Bananos asociados con café	BCF	50	1,46	0,5	5	1361,74	907	1700
Bananos asociados con árboles	BSAF	43	2,00	1	8	1302,09	872	1559
Total		149						

El sistema de producción en monocultivo (BM), se maneja de forma convencional. El establecimiento de la plantación en este sistema se precede de la tumba y quema de la vegetación nativa. El combate a plagas y enfermedades es basado fundamentalmente en el uso de productos químicos. Estas fincas se caracterizaron además por presentar muchas rutas de paso o acceso dentro de las parcelas que tienen por finalidad el transporte de la producción. La variedad predominante en este sistema es la Isla y el uso de cobertura vegetal del suelo es prácticamente nulo.

En el sistema asociados con cítricos (BCT), se observó en el cultivo de banano el uso de cobertura vegetal con las leguminosas como Kudzu (*Pueraria phaseloides*) y Centrocema (*Centrocema macrocarpum*). En este sistema normalmente existen mezclas de variedades de banano las cuales se manejan con el uso de algunos insumos químicos fundamentalmente plaguicidas.

En el sistema asociado con café (BCF), el banano tiene además la función de sombra temporal en las etapas iniciales de este cultivo. Generalmente el uso de productos químicos (plaguicidas) se restringió al momento de la plantación solo para desinfectar los hijuelos de banano. De manera similar al sistema de asocio con cítricos se verificó la mezcla de variedades de banano. En estos dos sistemas de asocio (con cítricos y café) existe la presencia de algunos árboles en la finca, pero de manera dispersa e irregular. En ambos sistemas el banano juega un papel fundamental tanto en la alimentación del productor como en su economía, especialmente cuando los precios de café y cítricos son bajos. Investigaciones recientes por Castellón (2010) sobre análisis de las cadenas productivas de banano en BSAF, determinó que los bananos se convierten en un complemento importante para los productores,

especialmente cuando no hay producción de café. De igual manera estudios por Van Asten et ál. (2012) mostró que la asociación de banano con café en Uganda generó un ingreso más del 50% para los agricultores, donde el banano forma parte de su alimentación y un flujo de caja modesto pero continuo durante todo el año, además de proporcionarles otros beneficios naturales enfocados al suelo con alta biomasa.

Los bananos en sistemas agroforestales (BSAF) se manejan con menos insumos externos, existiendo parcelas en transición agroecológica y algunas fincas orgánicas certificadas (Imo Control y Rain Forest). En estas fincas promueven la diversificación de especies forestales (nativas e introducidas), con fuerte presencia de especies como, Pacae (*Inga* sp), Cedro (*Cedrela odonata*), Tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*), Caoba (*Swietenia macrophilia*), Diablo fuerte (*Podocarpus* sp), Roble (*Quercus robur*), Bolaina (*Guazuma crinita*) y es común la presencia de nacientes de agua. Por lo general existe una buena cobertura del suelo y se hace el uso de abonos orgánicos (Guano de Isla, Roca Fosfórica, Sulpomag<sup>1</sup>), donde la materia orgánica proveniente de la pulpa de café es la que predomina. Algunos productores poseen composteras y también hacen uso de estiércol proveniente de animales como el Cuye (*Cavia porcellus*). Aunque en este sistema de producción existen mezcla de variedades de banano, la variedad Seda es la que predomina, probablemente por su mejor adaptación a la sombra de los árboles. Una investigación reciente por Perez (2012), mostró que la variedad Gros Michel tiene una aptitud para crecer en condiciones de sombra de 8 a 75%, especialmente porque tuvo una respuesta en la inserción del área foliar e índice de uso eficiente del agua.

#### **4.1.2 Variedades utilizadas**

Fueron encontradas ocho (08) variedades de banano y plátanos, en las fincas evaluadas (Figura 14). Independientemente del sistema de producción las variedades Isla (ABB) y Seda (AAA) fueron predominantes. Le siguen Bizcocho (AA), Morado (AAB) Manzano (AAB) y Plátano Largo (AAB). La variedad Palillo (AAB) se encontró en tres fincas y Bellaco (AAB) en una finca, respectivamente (Figura 14). En todos estos sistemas de producción excepto en

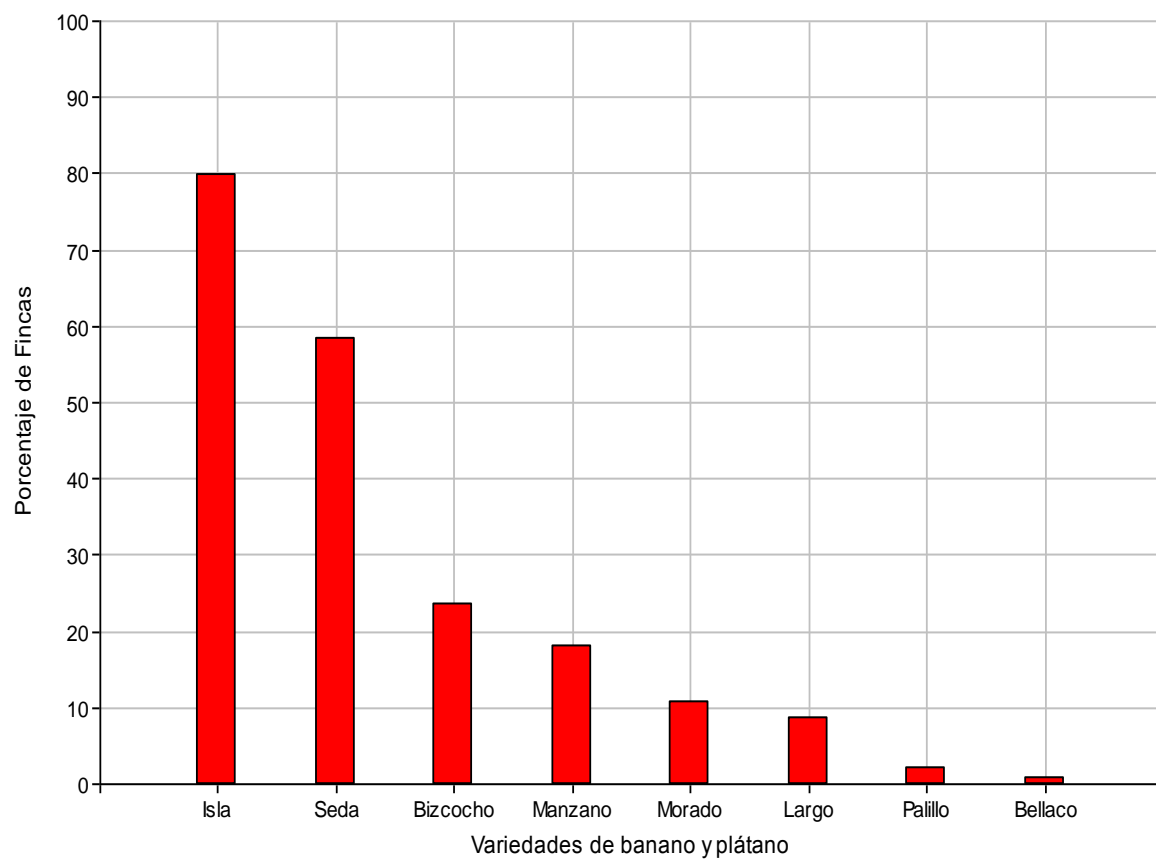
---

<sup>1</sup> Sulpomag es un fertilizante de origen natural, apto para la producción orgánica, presenta las fuentes de Azufre (22%), Magnesio (18%) y Potasio (22%). Fuente: Misti 2012.

el monocultivo, donde predominó la variedad Isla, se encontraron mezcla de variedades, las cuales son combinadas de diferente manera (Figura 15).

La predominancia de la variedad Isla está altamente asociada a la alta demanda y precio en el mercado de la capital del país y otras regiones vecinas. Adicionalmente, esta variedad posee otras características como precocidad, buena adaptación a la zona de cultivo y propiedades nutricionales (con sabor y textura) consideradas relevantes a los habitantes de la zona (MINAG 2012). En el caso de Seda su preferencia de uso responde a su buena adaptación a sistemas de cultivos en asocio fundamentalmente en sistemas agroforestales (Figura 15). Adicionalmente, la fruta de esta variedad tiene un nicho asegurado en los mercados locales, regionales y/o nacionales (MINAG 2012). Es importante resaltar que el distrito de San Luís de Shuaro es el único en la zona que abastece regularmente el mercado de la capital con la variedad Seda (MINAG 2012).

Las variedades Bizcocho, Morado y Manzano se orientan para el consumo directo y la preparación de jugos naturales. Ya las variedades de plátano como Largo, Bellaco y Palillo se utilizan principalmente en platos de cocción (MINAG 2012). Por lo tanto, el banano es el soporte de la seguridad alimentaria por la importancia como fuente de carbohidratos de la Amazonía Peruana y del país, por tal, esta categorizada como el cuarto cultivo básico del poblador peruano (FAO 2011).



*Figura 14. Variedades de banano y plátano utilizadas y su frecuencia de distribución en fincas del distrito de San Luís de Shuaro, provincia de Chanchamayo.*

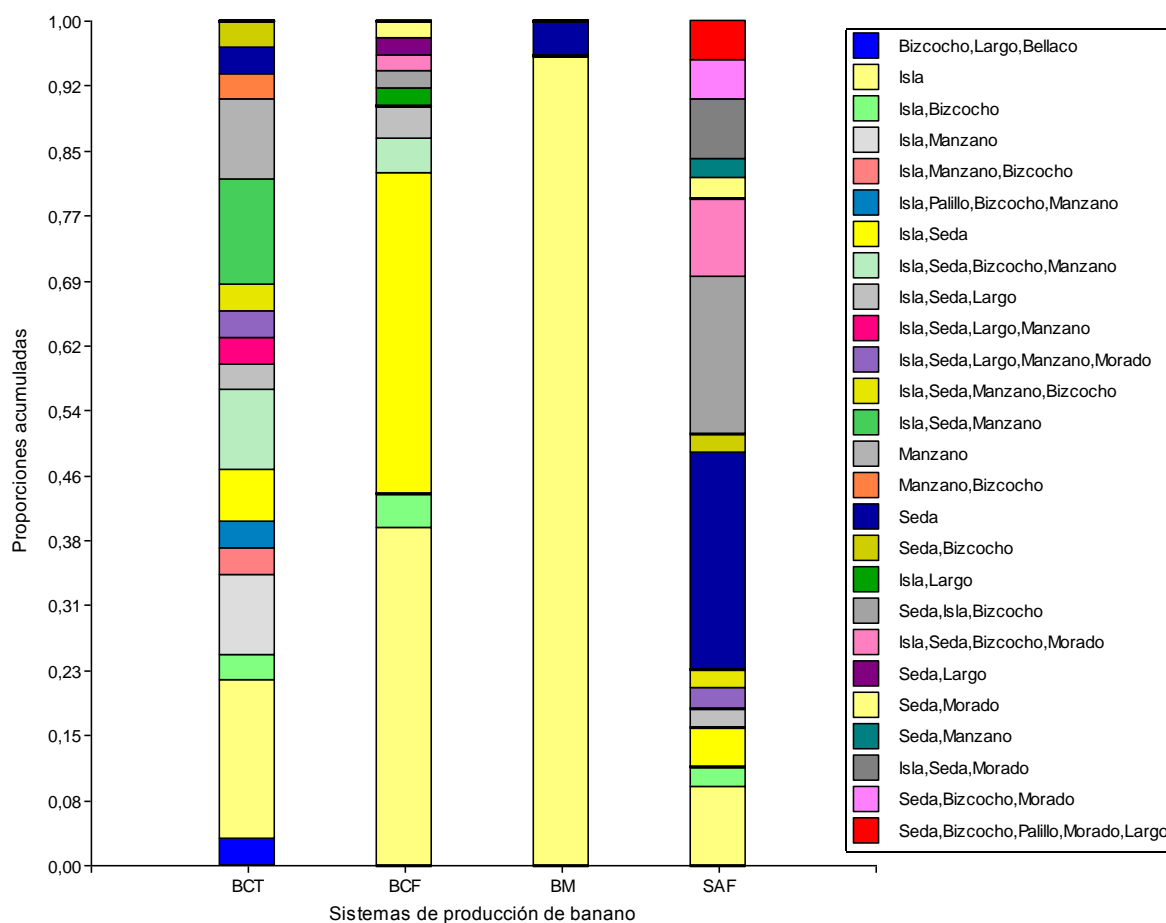


Figura 15. Variedades de banano y sus combinaciones utilizadas en diferentes sistemas de producción en el distrito de San Luís de Shuaro, Perú.

#### 4.1.3 Caracterización de las prácticas agronómicas en el cultivo de banano

De todas las prácticas agronómicas analizadas únicamente la disposición de la planta en la pendiente (Dip\_Pen), la conservación de suelos (Pr\_Cs), el desbellote (Pc\_Db), el distanciamiento de planta (Dist\_Pl), mostraron asociación ( $p = 0,05$ ) con los diferentes sistemas de producción de banano (Cuadro 7).



*Cuadro 6. Análisis de tablas de contingencia entre los sistemas de producción de banano y las variables relacionadas con las prácticas de manejo agronómico del cultivo (p=0,05)*

Variable	código	Chi <sup>2</sup>	Valor de p
Disposición de la planta en la pendiente	Dip_Pen	14,77	0,0020
Prácticas de conservación de suelos	Pr_Cs	78,9	0,0001
Prácticas de desahijé	Pc_Dh	1,46	0,6924
Prácticas de deshoje	Pc_Dho	3,69	0,2973
Prácticas de descalce	Pc_Dec	4,41	0,2203
Prácticas del desbellote	Pc_Db	8,68	0,0339
Prácticas de destronque	Pc_Dt	5,23	0,1559
Prácticas de limpieza de campo	Pc_Lmp	1,06	0,7861
Prácticas de apuntalamiento	Pc_Apt	1,05	0,7892
Prácticas de resiembra	Pc_Res	4,49	0,2131
Distanciamiento entre plantas	Dit_Pl	74,7	0,0001
Sistema de siembras	Sis_Sem	9,08	0,4295

Valores de  $p \leq 0,05$  en las tablas de contingencias son significativas representando asociación

El análisis de correspondencia de las variables de prácticas de manejo agronómico con los sistemas de producción de banano (Figura 16), reveló que el sistema de producción de banano en monocultivo (BM) está asociado con el distanciamiento entre plantas (Dist\_Pl) utilizado (3m x 3m) que resulta en 1100 plantas por hectárea. En este sistema, donde predomina la variedad Isla, también se detectó asociación con una práctica de conservación de suelos (Siembra Tres bolillo) y con la práctica del desbellote (Pc\_Db). El porte mediano de la variedad Isla y la emisión del racimo a alturas favorables para la eliminación de la bellota sin ayuda de escaleras, unido a las ventajas que esta práctica ofrece puede estar influenciando a que los productores realicen más el desbellote en este sistema de producción. De manera diferente al sistema de producción BM, en los sistemas de producción asociados con café (BCF) o cítricos (BCT), las prácticas de conservación de suelos (Pc\_Cs), incorporación de materia orgánica, uso de cobertura, tratamiento de residuos de cosecha, sí mostraron asociación. En los sistemas asociados (BCF y BCT) el distanciamiento entre plantas (Dist\_Pl), es (4x4), pero la disposición de la plantas es generalmente a favor de la pendiente (Dip\_Pen). En estos sistemas el banano es plantado antes de asociar el otro cultivo, realizando su establecimiento sin consideraciones técnicas en función de la pendiente.

El sistema de producción BSAF está fuertemente asociado con por lo menos cinco prácticas de conservación de suelos (Figura 16). En este sistema el distanciamiento entre plantas es

generalmente de 5m x 5m o 6m x 6m y las plantas están ubicadas en contra de la pendiente reduciendo la erosión provocada por el arrastre de suelo. Diferente al monocultivo la práctica del desbellote no es realizada en estos sistemas (Figura 16), probablemente por el hecho de que las variedades que predominan (Figura 15) tienen un porte alto que dificultan esta labor.

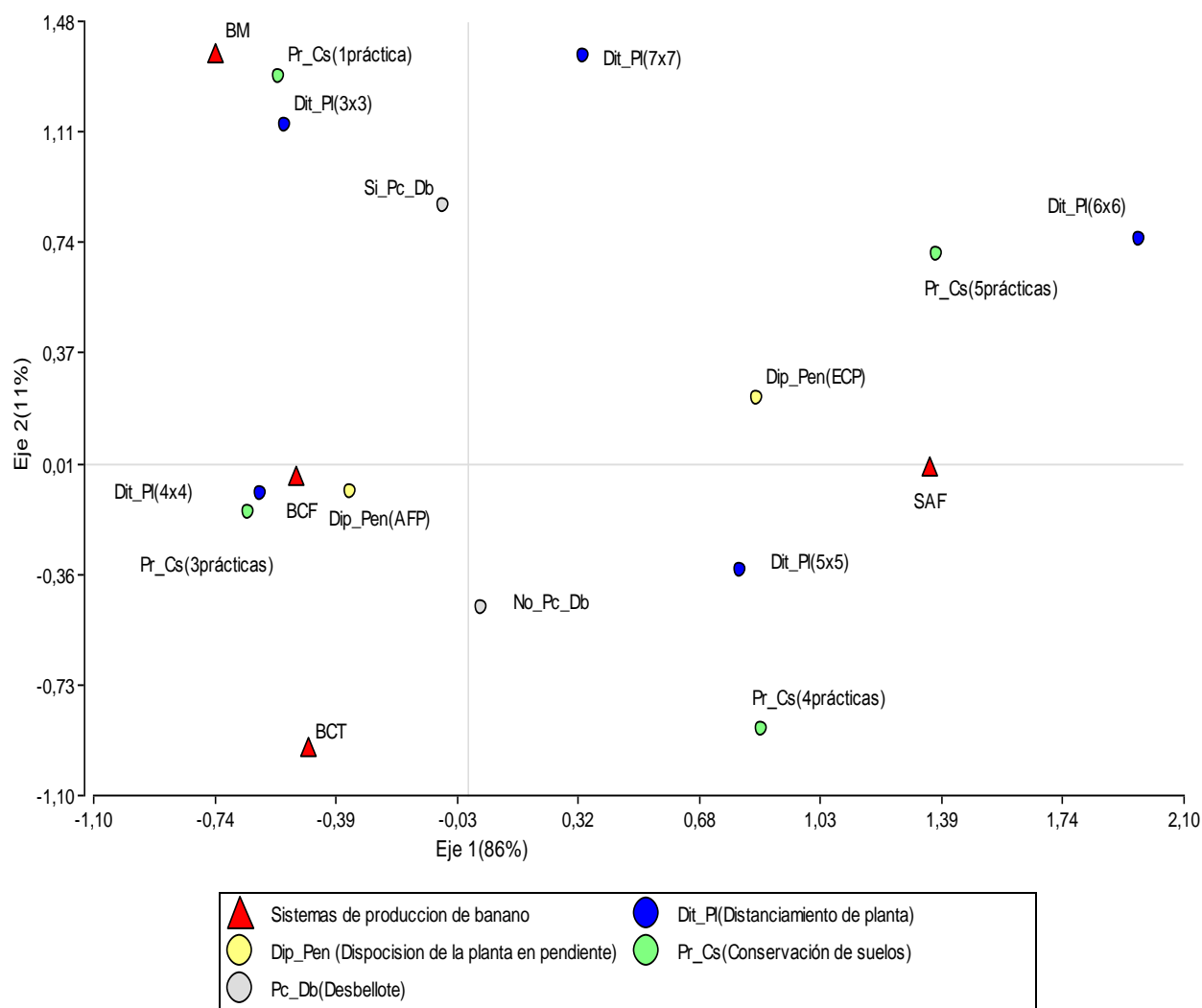


Figura 16. Análisis de correspondencia de sistemas de producción de banano con prácticas de manejo agronómico del cultivo. BM: Monocultivo; BCT: banano asociado con cítrico; BCF: banano asociado con café; BSAF: banano asociado con árboles. Las abreviaturas de las prácticas de manejo están detalladas en el Cuadro 7.

#### 4.1.4 Obtención de material vegetal semilla en las fincas

El material de semilla para el establecimiento de nuevas plantaciones en todos los sistemas de producción es de hijos tipo espada. No se encontró otro tipo de material de

siembra como por ejemplo el uso de vitroplantas o semilla macropropagada. Recientemente en la zona se han instalado facilidades para la obtención de material de siembra vía propagación de microcormos en cámaras térmicas. No obstante, el análisis de tabla de contingencias (Cuadro 7) entre los sistemas de producción de banano y las prácticas relacionadas al material de semilla, reveló que existe asociación ( $p = 0,05$ ) entre algunas prácticas con determinados sistemas de producción (Figura 17). La eliminación de las raíces del hijuelo, por ejemplo, se encontró asociada a BM. Un grupo realizó esta práctica en el campo donde sacaron el hijuelo, pero otro grupo lo realizó en el mismo campo donde instaló la nueva plantación, siendo esta última una práctica fitosanitariamente desaconsejable debido a que conlleva movimiento de tierra y tejido vegetal en los que pudieran estar eventualmente diseminando patógenos.

La desinfección de los hijuelos y el producto para su tratamiento mostró una asociación con los sistemas de producción (Figura 17). Los tratamientos de semilla identificados fueron el uso de agua caliente, aplicación de productos químicos (insecticidas y nematicidas), aplicación de cal (CaO), ceniza (CC) o Hipoclorito de Sodio (Lejía - L). Las variables edad de las plantas madres y peso del hijuelo no mostraron cualquier relación con los sistemas de producción, indicando que los productores obtienen sus semillas sin considerar la edad de la planta y/o el peso del hijuelo. En el caso del peso del hijuelo su peso varió notablemente de 1,6 a 3,5 kg (Datos no mostrados) lo que sugiere que ésta práctica no es considerada en ninguno de los sistemas de producción.

En relación a la obtención de la semilla se identificaron dos grandes grupos: los que compran la semilla y los que la obtienen en su propia finca. En el primer grupo están la mayoría de productores que utilizaron un sistema de producción BM que al obtener su material de siembra de terceras personas reciben la semilla sin cualquier control de calidad genética y fitosanitarias; además realizan la remoción de raíces, tierra y tejidos vegetales en la finca donde se instalará la nueva plantación.

Los productores que usan sistemas de producción BCT y BCF, aunque compran sus hijuelos, realizaron una selección previa y limpieza del hijuelo en la finca donde compraron el hijuelo (CPO). La diferencia entre BCT y BCF es que para la desinfección de los hijuelos en BCT se utilizaron productos químicos (insecticidas y nematicidas - IN) y en BCF además del tratamiento químico hay también casos representativos donde la desinfección se realizó a base de agua caliente más cal y ceniza (CPM\_si\_AHCC). En el segundo grupo están fundamentalmente productores que utilizaron el sistema de producción BSAF.

Este grupo generalmente trató la semilla con agua caliente más cal y ceniza (AHCC), Cal y Ceniza (CC) y/o usan Lejía (L) y eliminaron las raíces, tierra y tejidos vegetales en el mismo campo donde están sacando o comprando el hijuelo (CPO).

*Cuadro 7. Análisis de contingencias de las variables Sistemas de Producción de banano y obtención del material de siembra.*

Variable	Código	Chi <sup>2</sup>	Valor p
Edad de la planta madre para sacar hijuelos	SP_SEM	2,55	0,8631
Peso del hijuelo	P_SEM	10,29	0,3275
Obtiene comprando o no	O_SEM	15,08	0,0001
Quién selecciona la semilla	QS_SEM	6,13	0,4087
Dónde elimina las raíces	ER_SEM	2,46	0,0289
Tratamiento de la semilla	TR_SEM	31,50	0,0001
Producto usado para la desinfección	PRD_SEM	37,87	0,0002

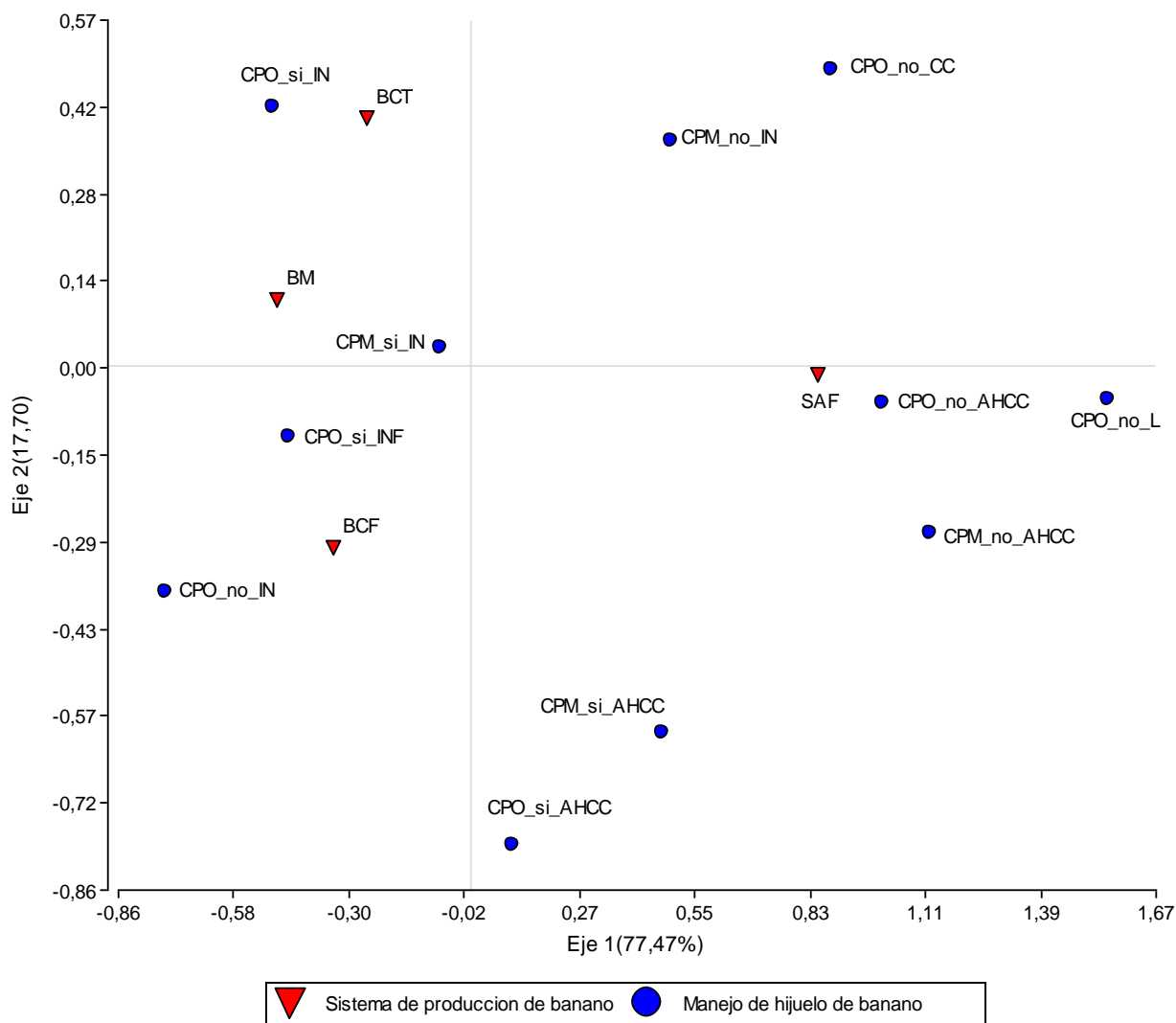


Figura 17. Análisis de correspondencia de las variables sistemas de producción de banano entre el proceso de selección de semilla en el distrito de San Luís de Shuaro. Donde: Agua hervida más cal y ceniza (AHCC), cal y ceniza (CC), lejía (L), eliminó raíces, tierra en el campo donde compro o saco el hijuelo (CPO), elimino raíces, tierra en el mismo campo donde instalare el nuevo cultivo (CPM), insecticida nematicida (IN); insecticida, nematicida y fungicida (INF)

#### 4.1.5 Plagas y enfermedades

Además de la Marchitez por Fusarium, fueron identificadas otras plagas y enfermedades con diferentes niveles y frecuencias en todos los sistemas de producción de banano (Figura 18 y Figura 19). Dentro de estas plagas el Picudo negro (*Cosmopolites sordidus*), fue el que mostró mayor nivel de presencia, siendo relatado en casi la totalidad de las fincas. La Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*), se encontró afectando significativamente las variedades Seda, Bizcocho, Morado, Bellaco y Largo. En esta última

variedad fue reportada la enfermedad por primera vez en el Perú (1994), específicamente en el departamento de Ucayali (Gustavo et ál. 2004). En la variedad Isla se observaron niveles bajos de severidad (menos del 5%) de la enfermedad, lo cual es al parecer predominante en el distrito (Comunicación personal con el SENASA). La resistencia de la variedad Isla a esta enfermedad fue también reportada por Krauss et ál. (1999). Una enfermedad creciente en la zona es la Elefantiasis, causada por *Ustilaginoidella oedipigera* (Figura 19). Esta enfermedad se observó mas en BSAF encontrando 103 plantas afectadas entre las variedades Isla, Seda y Morado. Estos mismos resultados fueron reportados por Merchán (2002), sus síntomas externos se caracterizan por un ensanchamiento en la base el cormo que consecutivamente forma capas, posteriormente se pudre la parte del cormo y la planta cae, dejando la base del cormo con la apariencia de una pata de elefante (Figura 19). Según los productores esta enfermedad es actualmente otra de sus preocupaciones pues se presenta en diferentes etapas fenológicas del cultivo, perjudicando económicamente no solo la producción sino que inviabiliza el uso de hijos de plantas afectadas como material de siembra. Aunque en la literatura se reporte *Ustilaginoidella oedipigera* como agente causal (Stover 1972) en realidad hay desconocimiento tanto sobre la etiología como sobre la epidemiología de esta enfermedad.

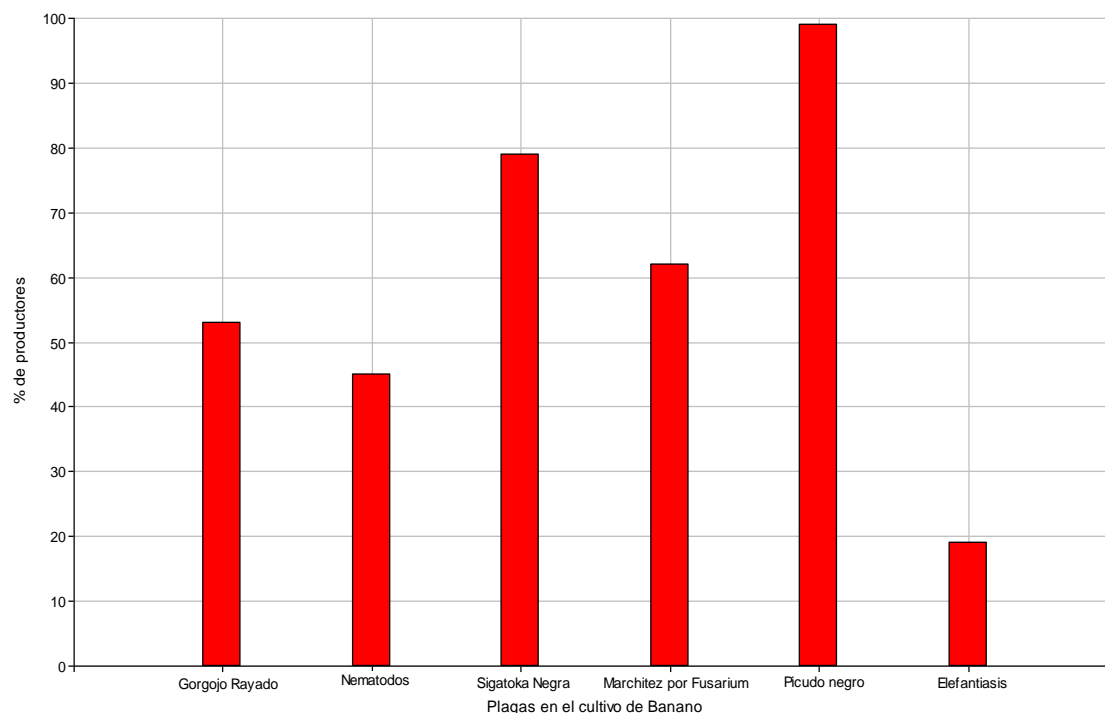


Figura 18. Plagas y enfermedades presentes en el cultivo de banano en el distrito de San Luís de Shuaro- Chanchamayo





Figura 19. Las plagas y enfermedades del banano identificadas en fincas del Distrito de San Luís de Shuaro, Perú. **A** Daños producidos por el Picudo negro del Plátano (*Cosmopolites sordidus*) **B**. *Sigatoka negra* (*Mycosphaerella fijiensis*) **C, D y E**. Síntomas externos de Elephantiasis (*Ustilagioidella oedipigera*) en las variedades de Morado y Seda, evidenciando el engrosamiento y formación de capas en el cormo con la final caída de la planta.

Los productores señalan que la enfermedad más devastadora y letal es la Marchitez por *Fusarium*, conocida localmente por Mal de Panamá seguido por los daños ocasionados por el Picudo negro y por último la Elephantiasis. El impacto que tienen estas plagas es tal que 78% de los productores entrevistados manifestaron su disponibilidad de cambiar de variedad de banano siempre que el nuevo material posea características productivas y de mercado compatibles con la zona de producción.

#### 4.1.6 La Marchitez por *Fusarium*

De las 149 fincas evaluadas en 92 (62%), se detectó la Marchitez por *Fusarium* (Figura 20). Los síntomas de la enfermedad en la zona de estudio (Figura 21 y 22) coincidieron con los ya descritos en las investigaciones (Ploetz et ál. 2000; Hwang et ál. 2004; Ploetz 2006), no observándose síntomas en los frutos, confirmando de esta forma lo relatado en la literatura (Stover 1962, Ploetz et ál. 2000).

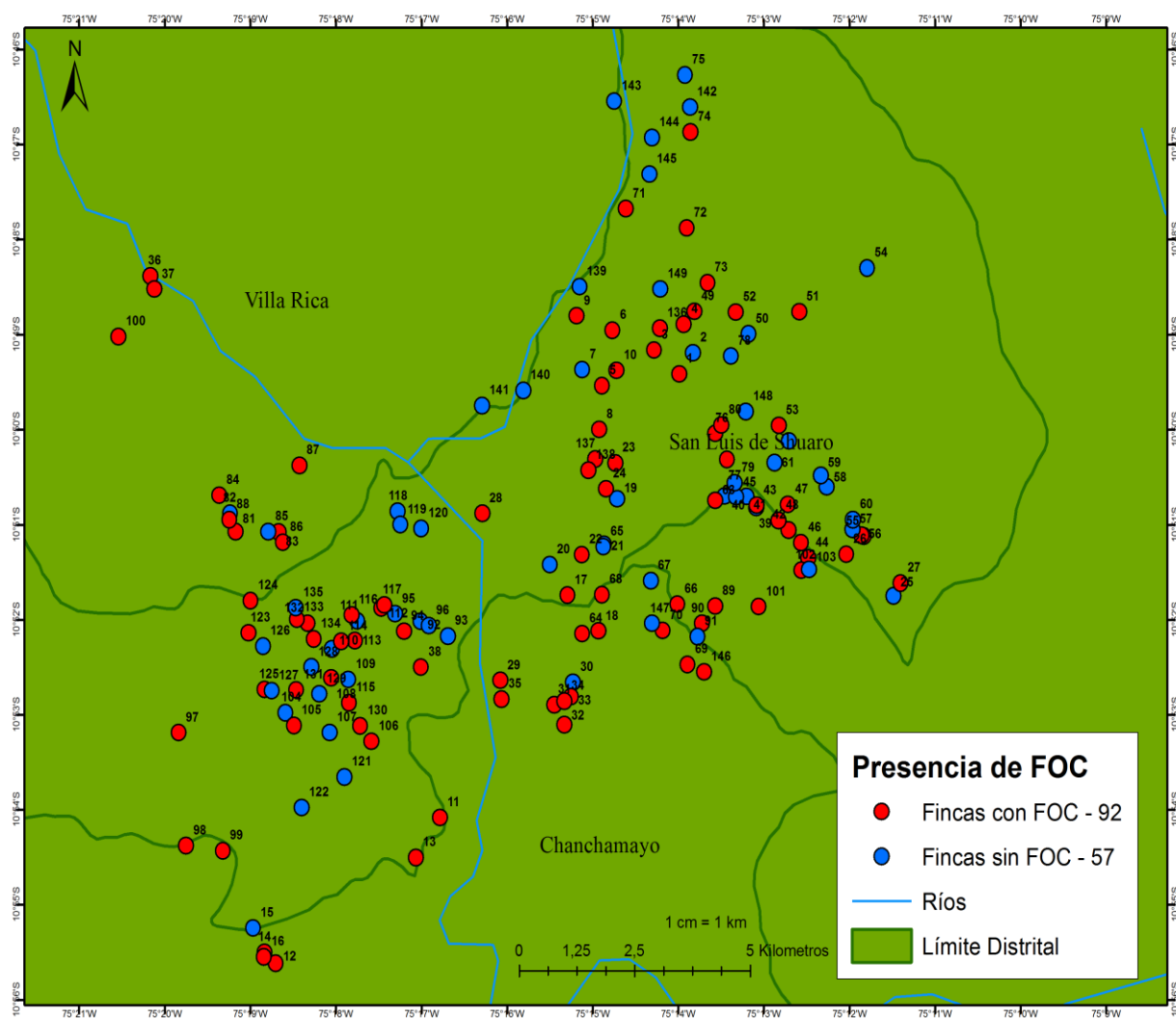


Figura 20. Mapa del distrito de San Luis de Shuaro, mostrando la localización de las fincas seleccionadas para el estudio y la presencia o ausencia de la Marchitez por *Fusarium* del banano.



En cepas con plantas muertas por la enfermedad se observó la emergencia de hijuelos visiblemente sanos y vigorosos, pero que tienen alta probabilidad de estar infectados (Stover 1962; Ploetz et ál. 2000; Kangire y Rutherford 2000; Hwang et ál. 2004).

Los productores que desconocen este aspecto (Figura 25) venden o regalan estos hijuelos contribuyendo a la diseminación de la enfermedad. El uso de hijos asintomáticos, pero infectados por Marchitez por *Fusarium*, es uno de los principales medios por los que inadvertidamente la marchitez por *Fusarium* es diseminada (Su et ál. 1986) y en el distrito de San Luís de Shuaro no es la excepción.

Los productores del distrito San Luís de Shuaro, relatan que la presencia de la enfermedad inicio en el año 2000, afectando a las variedades Isla y Seda, en las localidades de Puente Capelo y Chichizu (Figura 23). Después de un tiempo en el año 2006 se presencié la enfermedad en otras localidades, afectando a las variedades Isla, Seda y Manzano. Tres años después (2009) la enfermedad se diseminó a otras localidades, afectando a otras variedades como el Morado. En los últimos años 2010, 2011 y 2012, la enfermedad sigue aumentando (Figura 23) y se ha dispersado a prácticamente todo el distrito afectando las variedades: Isla; Seda, Manzano, Morado, Bizcocho y Palillo (Figura 23) y (Figura 24).

La Marchitez por *Fusarium* en el Perú se reportó en 1951 en la localidad de Tíngo María, posteriormente en Tumbes, Piúra, Motupe, Huarney, Huara y Camana (Pinchinat, et ál. 1986). Los mismos autores relataron sobre la presencia del Picudo negro y el Nemátodo barrenador del plátano en la Selva Central (Chanchamayo – Satipo), pero no hicieron referencia a la presencia de la Marchitez por *Fusarium*. Revisiones sobre la producción de *Musáceas* en el Perú tampoco han hecho mención de la presencia de la enfermedad en esa zona con anterioridad (Krauss et ál. 1999).



Figura 21. Síntomas externos de Marchitez por *Fusarium* en las variedades de banano en San Luís de Shuaro - Perú. **A.** Planta de Isla, con los síntomas iniciales de la enfermedad, colgamiento de las hojas jóvenes, formando una falda al pseudotallo. **B.** Debilitamiento y amarillamiento, intenso de las hojas maduras y jóvenes. **C.** Planta totalmente muerta de la variedad Seda. **D.** Inicio de la rajadura del pseudotallo y la formación de los hijuelos hermosos en la variedad Isla. **E.y F.** Rajadura del pseudotallo y la exposición de los haces vasculares en las variedades Isla y Palillo.





Figura 22. Síntomas internos de Marchitez por *Fusarium* en las variedades de banano en el distrito de San Luís de Shuaro. **A.** Cormo con manchas necróticas **B.** Pseudotallo con la presencia de los haces vasculares necróticamente generalizado, de colores amarillo, rojizo y marrón. **C.** Necrosis de los haces vasculares en el Peciolo y Vaina del banano.

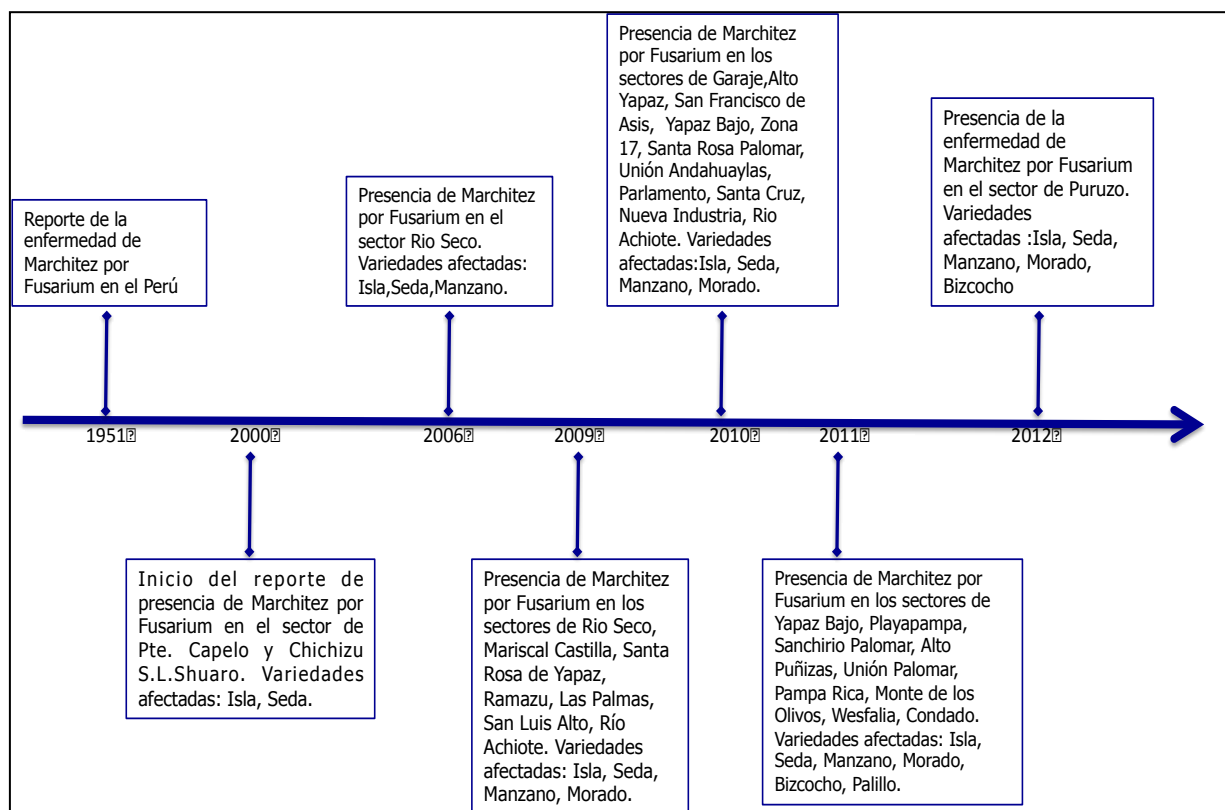


Figura 23. Línea de tiempo de la presencia de Marchitez por Fusarium (*Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense*), en el distrito de San Luís de Shuaro, provincia de Chanchamayo, Perú.

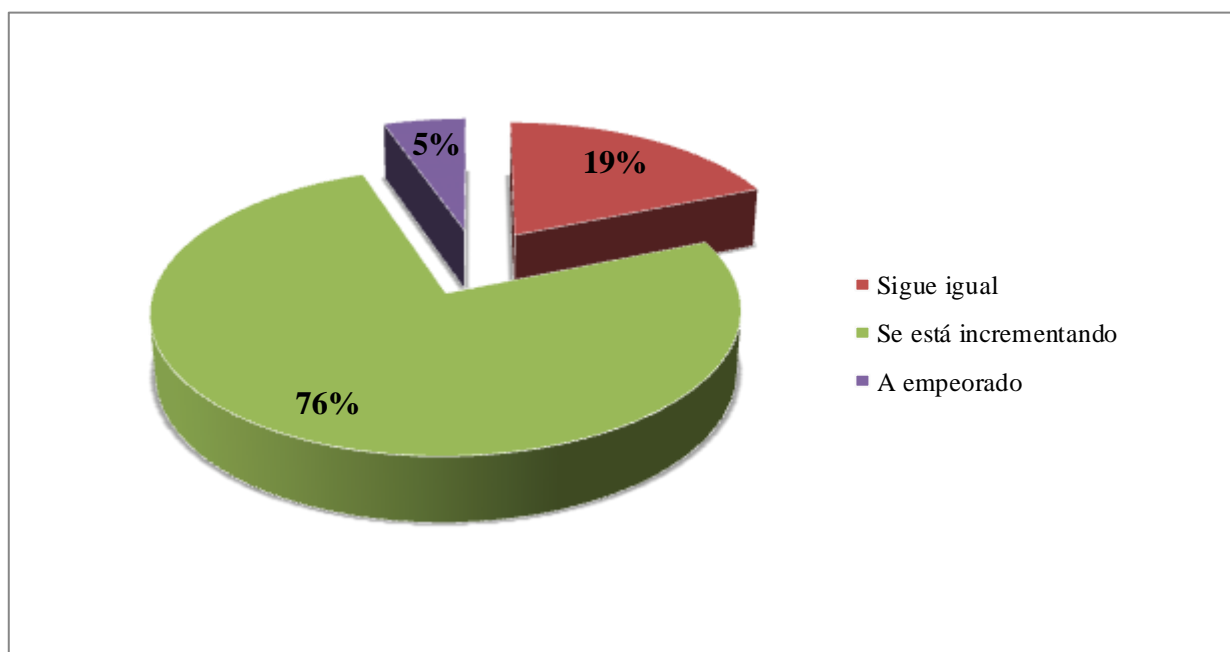


Figura 24. Análisis de tablas de frecuencias de la percepción de los productores de como está el estado actual de la Marchitez por Fusarium en el distrito de San Luís de Shuaro–Perú

Otra dificultad que encuentran los productores es la confusión de los síntomas de la Marchitez por Fusarium, con los síntomas de Picudo negro o la Sigatoka Negra. Apenas el 10% reconocieron e identificaron claramente los síntomas de la Marchitez por Fusarium (Figura 25). Krauss et ál. (1999), en sus investigaciones de Musa en el Perú, reportaba que los productores confundían la enfermedad de Marchitez por Fusarium, con la Sigatoka negra, la cual era llamada por los pobladores como seca - seca. De igual manera conclusiones de estudios por Márquez (2004) en Colombia, destaca que los pequeños productores desconocen la enfermedad y que se confunden la sintomatología con problemas Nutricionales. Como puede observarse la dificultad para los productores en la Selva Central continua (Figura 25), aspecto este que definitivamente dificulta las medidas de manejo.

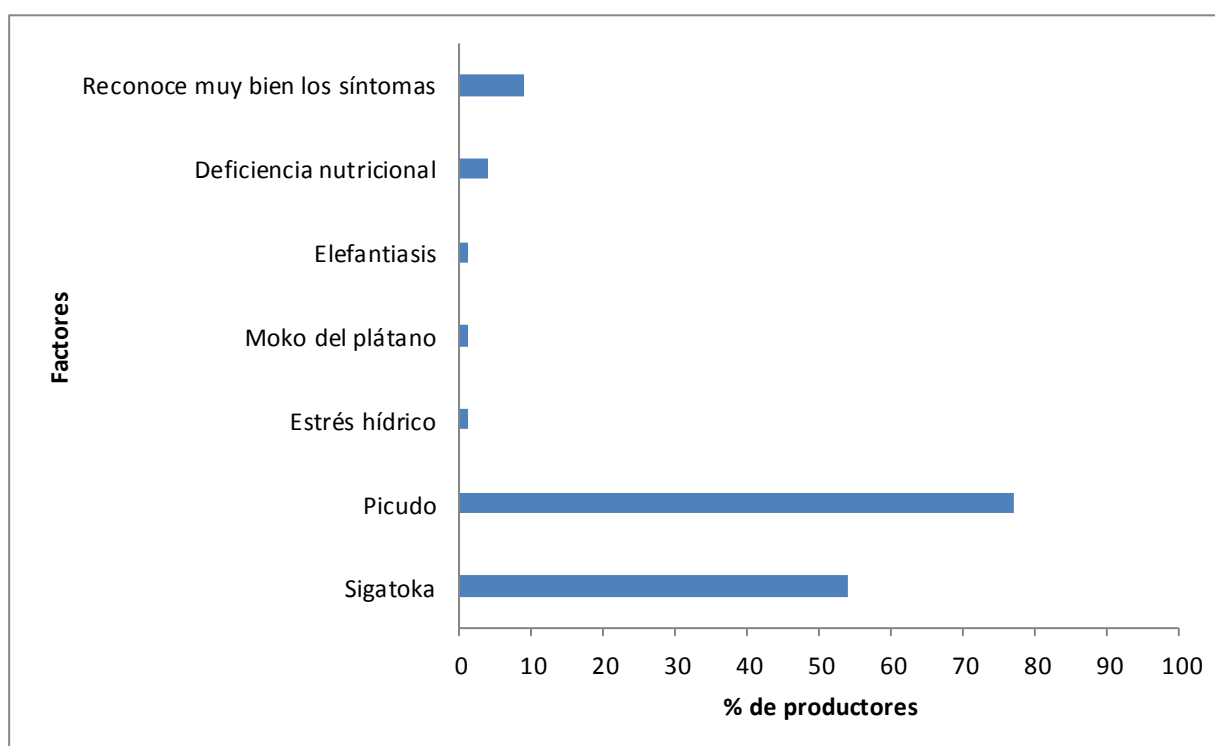
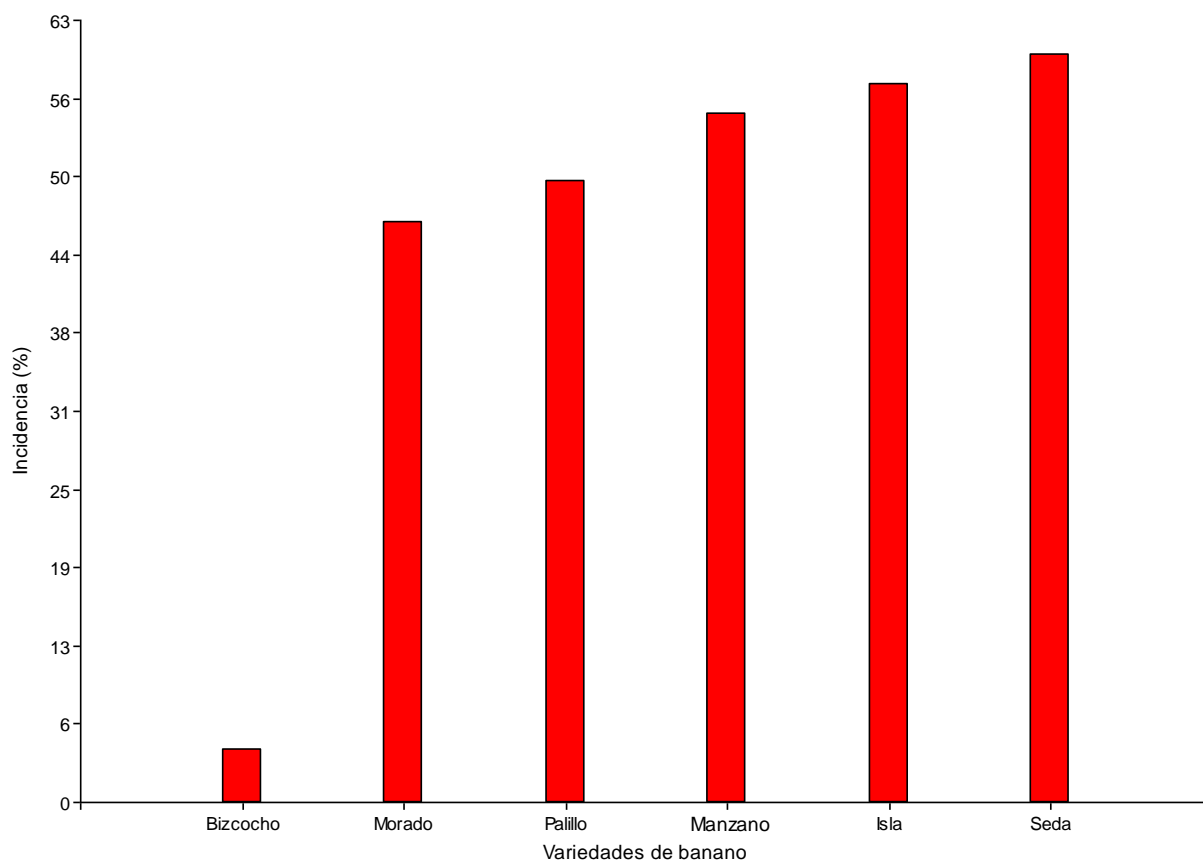


Figura 25. Análisis de tablas de frecuencias de los factores bióticos y abióticos que confunden los productores del distrito de San Luís de Shuaro con los síntomas de la Marchitez por Fusarium del banano (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*)

#### ***4.1.7 Susceptibilidad de variedades de banano presentes en el distrito San Luís de Shuaro a la Marchitez por Fusarium***

Fueron registrados diferentes niveles de incidencia de la Marchitez por Fusarium. Los mayores valores de incidencia se encontraron en las variedades Seda, Isla, Manzano, Morado

y Palillo, respectivamente (Figura 26). La variedad Bizcocho a pesar de ser detectada como afectada por la enfermedad, presentó bajos niveles de incidencia (Figura 26). En las variedades de plátano Bellaco (AAB) y Largo (AAB) no se observó la presencia de la enfermedad. La variedad Bizcocho (AA) conocida en Centroamérica como ‘Datil’ o ‘Baby’, es un banano de postre, de alta calidad culinaria, y ya fue relatada como susceptible a la raza 1 de FOC (Ploetz y Pegg 2000).



*Figura 26. Incidencia de la Marchitez por Fusarium en variedades de banano en fincas en el distrito de San Luís de Shuaro. Valores de incidencia corresponden al cálculo del número de Fincas donde la variedad fue encontrada enferma sobre el número total de fincas donde la variedad estaba presente.*

La presencia de la enfermedad se presentó en todos los sistemas de producción de banano independientemente de la combinación de variedades presentes (Figura 27).



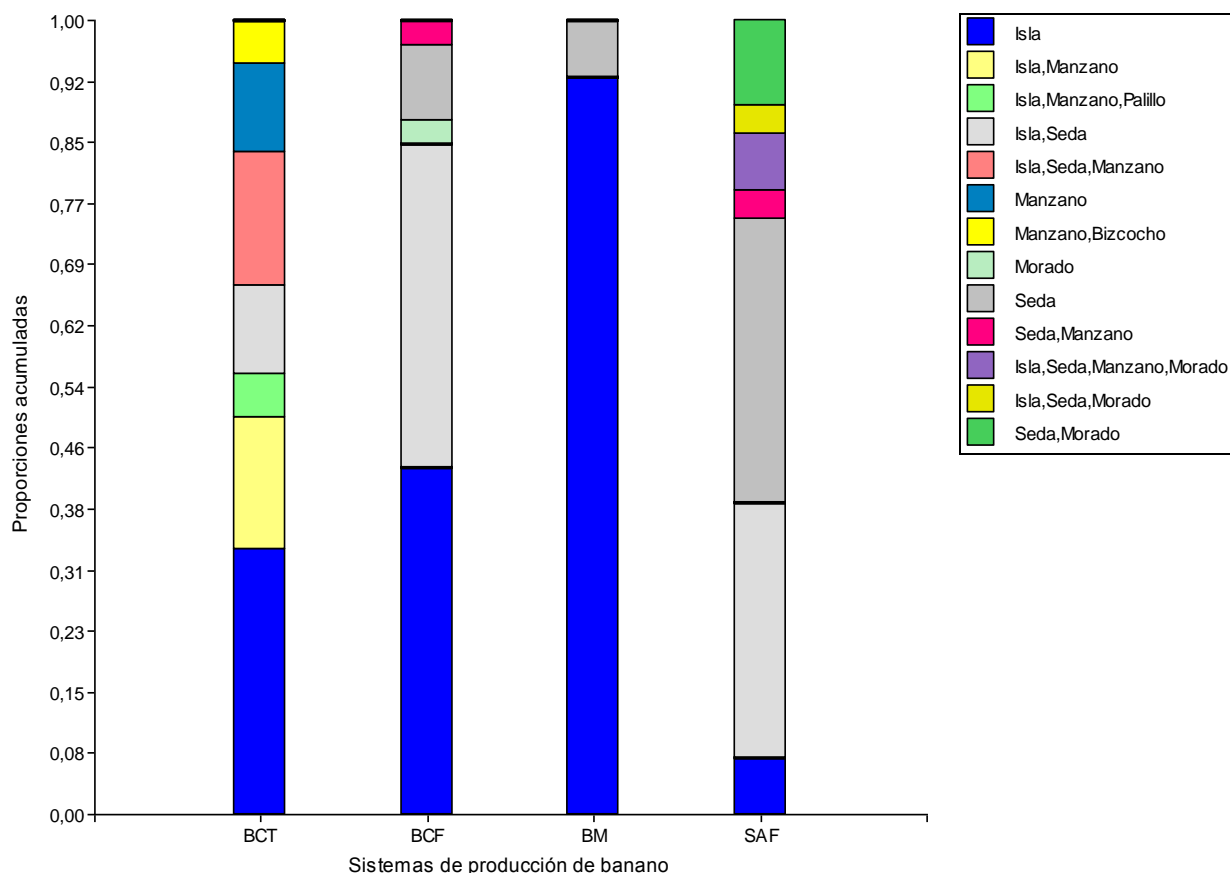


Figura 27. Distribución por sistemas de producción las variedades de banano afectadas por la Marchitez por Fusarium, en el Distrito de San Luís de Shuaro, Perú.

#### 4.1.8 Prácticas para el manejo de la Marchitez por Fusarium

Las prácticas para el manejo de la Marchitez por Fusarium que utilizaron los productores con presencia o ausencia de la enfermedad están representadas en el análisis de frecuencia de la (Figura 29). La mayoría de las prácticas de manejo mostraron asociación con la presencia o ausencia de la enfermedad (Cuadro 8), excepto las prácticas Se\_Pe\_Mp (señalizo puntos de las matas enfermas para reducir el movimiento de persona) y Re\_Pl\_Ve (reviso las plantaciones del vecino para identificar la Marchitez por Fusarium). Cuando se analizó la correspondencia de la magnitud de la enfermedad (poco, mucho, no tiene) con las prácticas de manejo a la Marchitez por Fusarium se verificó que la mayor asociación de las prácticas de manejo están con las fincas que no tienen la enfermedad o la tienen independientemente de si tienen baja o alta incidencia (Figura 30). Dentro de las prácticas que se realizaron en las fincas que no presentaron la enfermedad y que presentaron mayores frecuencias cuando comparadas con las fincas que presentan la enfermedad están la

realización distanciamiento entre plantas, entre los linderos y uso de barreras naturales (Dir\_Barr), aplica abonos y fertilizantes (Su\_Nut\_Fer), selecciona semilla sana y de buena calidad (Se\_Sem\_Bc), desinfecta herramientas (De\_Herr), desinfecta botas antes de ingresar a la finca (De\_Bo\_In\_Fi), presta atención al movimiento del suelo por la corriente de agua (To\_Ms\_Ca) y participa de las capacitaciones (Pa\_Ca). Ya en las fincas que presentan la enfermedad la única práctica que se destaca es la eliminación de plantas sospechosas (Eli\_Pe\_Sp)

El distanciamiento entre plantas y uso de sus barreras naturales (Dir\_Barr), es notable en fincas donde la enfermedad no está presente. En las fincas con presencia de la enfermedad ésta práctica es poco frecuente y es común observar la presencia de caminos y trochas internas que permiten el movimiento constante de personas. Estos caminos son altamente comunes en el sistema de producción BM, pues son utilizados para retirar la cosecha de las fincas y debe ser uno de los factores asociados a la alta incidencia de la enfermedad en este sistema (Figura 28).



*Figura 28. Trochas y caminos dentro de las fincas de los sistemas de producción de banano monocultivo.*



El uso de abonos orgánicos y fertilizantes (Su\_Nut\_Fer) se remite fundamentalmente a encalados (CaO) antes de instalar el cultivo de banano con el objetivo de corregir la acidez del suelo. En las etapas de crecimiento y desarrollo de las plantas se aplican fuentes orgánicas como el Guano de Isla, Roca Fosfórica, Sulpomag y Dolomita. En el uso de la materia orgánica, en la actualidad están aplicando pulpa de café, compost, guano de cuy, de ovino y de aves de corral, enfatizando la aplicación de microorganismos de montaña (MM), bioles, biofermentos, lixiviados de raquis de banano y aguas miel. El efecto de la corrección del pH y la aplicación de enmiendas orgánicas en la reducción de las enfermedades causadas por patógenos de suelo, incluyendo formas especiales de *Fusarium oxysporum* está bien documentado en la literatura (Peng et ál. 1999; Weller et ál. 2002; Mendes et ál. 2011; Sudarma et ál. 2011; Pattison et ál. 2008; Kinkel et ál. 2011, Pattison et ál. 2011 y Pattison et ál. 2012) No obstante, el efecto directo de esta práctica sobre la Marchitez por *Fusarium* del banano en el Distrito de San Luís de Shuaro, necesita ser verificada. De la misma forma es necesario un análisis más profundo de las enmiendas más eficientes.

La selección de hijuelos sanos y de calidad (Se\_Sem\_Bc), permite saber a los productores si su material de siembra tiene un efecto importante en la introducción y/o población del patógeno. En tanto, en las fincas que no se evidenció la marchitez por *Fusarium* tuvieron mejores criterios explícita o eficazmente en la anulación del patógeno al momento de la selección de su hijuelo. Realizado por ellos mismo dentro de sus propias fincas y/o obteniendo de otros sectores tomando en cuenta la presencia de Marchitez por *Fusarium* (Figura 17), entre tanto, en las fincas que se presentaron la enfermedad no tomaron atención la presencia del patógeno, debido al desconocimiento de la marchitez por *Fusarium*. Pero en la actualidad, en sus zonas de rescate vienen ejecutando lo mencionado anteriormente. Sin embargo, en el distrito existen productores que seleccionan su material de siembra en parcelas de banano que no presentan la enfermedad, realizado a través de la selección pragmática de rendimiento de la planta madre. Por otro lado es el acceso al material y del historial que muchos productores desconocen al momento de seleccionar su material de siembra. La desinfección de las herramientas (De\_Herr) es una de las prácticas que los productores realizan constantemente incluso en algunas fincas con la presencia de la enfermedad (Figura 29). Generalmente el producto utilizado es el hipoclorito de sodio, conocido en la zona como *Lejía*.

Las herramientas se desinfectan después de realizar las prácticas de deshoje, limpieza del hijuelo, eliminación de plantas enfermas. Cuando no disponen de la *Lejía* utilizan los limones agrios (*Citrus limonum*). El hecho de que esta práctica sea realizada también con cierta frecuencia en fincas con presencia de la enfermedad indica su uso aislado y que no es suficiente para el correcto manejo de la enfermedad, pues existen otras vías de introducción de la enfermedad que deben ser consideradas. La desinfección de botas antes de ingresar a las fincas (De\_Bo\_In\_Fi) que se mostró como una práctica diferencial en las fincas libres de la enfermedad, es una práctica relativamente reciente, pero adoptada por un grande número de productores en la zona.

Es importante notar que el factor capacitación (Pa\_Ca) también se mostró con alta frecuencia en las fincas que no poseen la enfermedad. Productores con cierto conocimiento de la enfermedad, inspeccionan no solo en su finca donde están las plantaciones, sino también la de los vecinos para detectar si tienen o no la enfermedad y aplicar medidas de erradicación.

Adicionalmente existe un factor importante para resaltar, principalmente, en el sistema de producción BCF. En estos sistemas los productores establecen viveros de café con suelos de la misma plantación que afectan por la Marchitez por Fusarium. Como el hongo permanece en el suelo, la enfermedad es inadvertidamente diseminada, muchas veces a largas distancias, durante el movimiento de las plántulas de café.

Considerando la epidemiología de la Marchitez por Fusarium, se puede observar que las prácticas realizadas con mayor frecuencia en las fincas que no presentan la enfermedad tiene un impacto directo en la diseminación de FOC (Kangire y Ruthenford 2000; Hwang et ál. 2004; Daniell 2010; Ploetz 2010). Prácticas mas frecuentes: No introduce material vegetal (In\_Mat\_Veg), no introduce suelo (In\_Su), participa en las capacitaciones (Pa\_Ca), desinfecta las herramientas (Des\_Herr), selecciona hijuelos sanos, vigorosos y de calidad (Se\_Sem\_Bc), están abonando con fuentes orgánicas las plantas (Su\_Nut\_Fert), mantiene distancia de siembra entre las fincas, presentando barreras naturales (Dit\_Barr), aplica materia orgánica (Ap\_Mo\_Bo) y desinfectan las botas (De\_Bo\_In\_Fi). La constancia de que estas prácticas tienen un impacto directo sobre la exclusión de la marchitez por Fusarium del banano indica que su adopción debe ser obligatoria en áreas con presencia de la enfermedad.

En el caso de las fincas que presentan la enfermedad la eliminación de plantas sospechosas (Eli\_Pe\_Sp) de estar infectadas por la Marchitez por Fusarium, se realizaron de diferentes maneras como: a) Eliminar la planta y picar su pseudotallo en el mismo local, agregando cal y ceniza; b). Eliminan tanto la cepa infectadas como aquellas en el contorno c) Siendo la más inadecuada, eliminan la planta enferma, dejando sin picar el pseudotallo restos de los tejidos vegetales de las plantas enfermas entre las hileras dentro de la parcela. Algunos productores están adicionando a las cepas de las plantas aserrín, con la finalidad de aumentar la materia orgánica y que no se diseminen las esporas del patógeno.

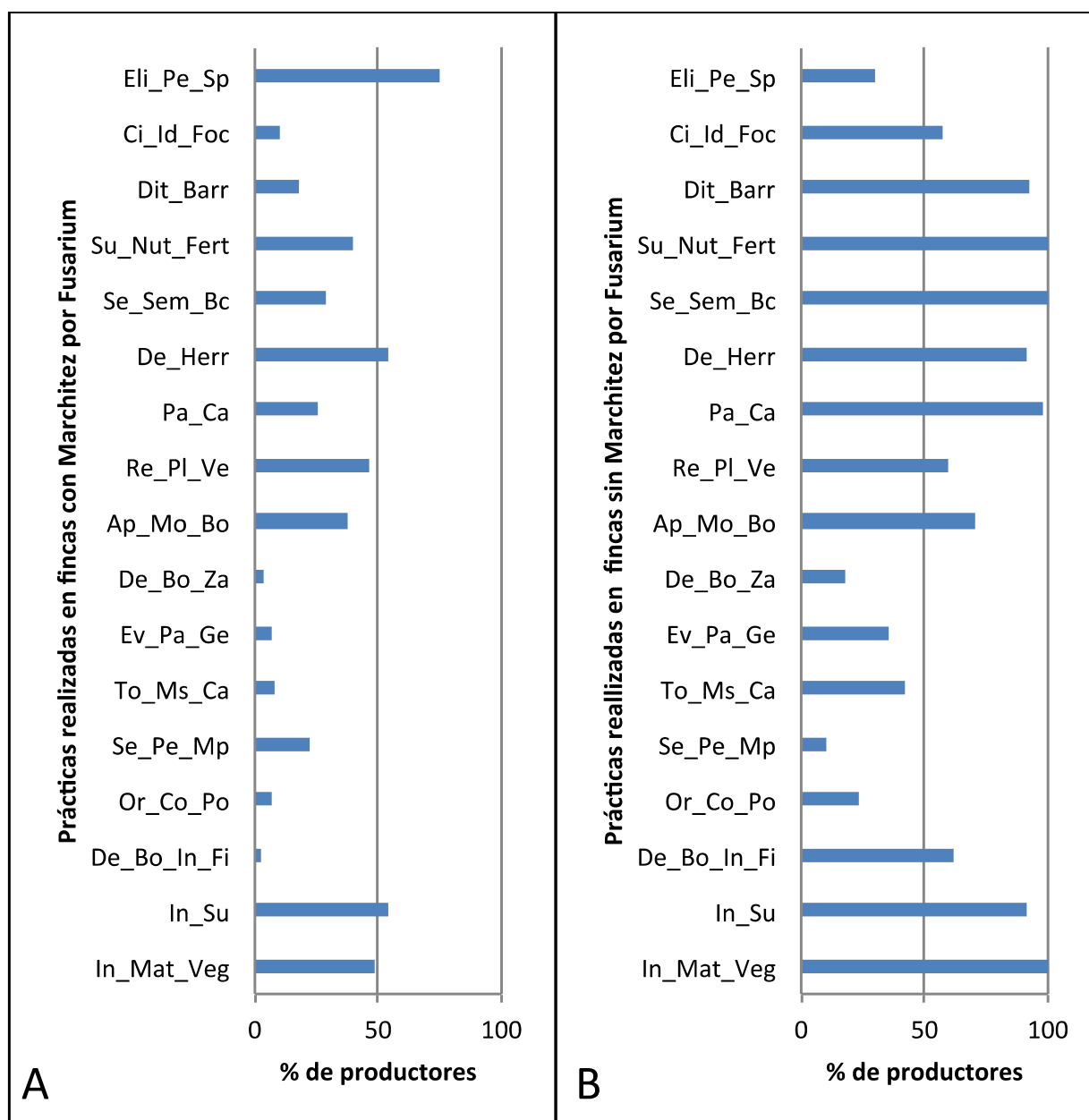


Figura 29. Prácticas y/o actividades ejecutan productores para el control de la Marchitez por *Fusarium* (*F. oxysporum* f.sp. *cubense*), en fincas de banano con (A) o sin (B) presencia de la enfermedad en el distrito de San Luís de Shauro-Chanchamayo-Perú. Donde: eliminación de las plantas sospechosas (Eli\_Pe\_Sp,) cirugías para identificar Marchitez por *Fusarium* (Ci\_Id\_Foc), distanciamiento entre plantas entre los linderos, barreras naturales (Dit\_Barr) abonamiento (Su\_Nut\_Fert) selecciona semilla sana y de buena calidad (Se\_Sem\_Bc), desinfecta herramienta (De\_Herr), participa en la capacitación (Pa\_Ca), revisa plantas vecinas (Re\_Pl\_Ve), aplica materia orgánica, biofermentos, viores, MM (Ap\_Mo\_Bo), delimita los bordes de la finca con zanjas (De\_Bo\_Za), evita pasar a las personas dentro de su finca (Ev\_Pa\_Ge), toma atención el movimiento del suelo por la corriente de agua (To\_Ms\_Ca), selecciona plantas enfermas para disminuir el movimientos de personas sobre el punto (Se\_Pe\_Mp), organiza a los cosechadores, podadores (Or\_Co\_Po), desinfecta botas ingresa a su finca (De\_Bo\_In\_Fi), Introduce suelo (In\_Su) y Material Vegetal (In\_Mat\_Veg).

*Cuadro 8. Asociación de la variable presencia o ausencia de la Marchitez por Fusarium del banano con las variables de prácticas de manejo de la enfermedad ( $p \leq 0.05$ )*

Variable	Abreviado	chi <sup>2</sup>	Valor p
Introduce material de siembra de otras fincas	In_Mat_Veg	44,47	0,0001
Introduce suelo	In_Su	34,02	0,0001
Desinfecta las botas de los trabajadores y vecinos antes de ingresar a la finca	De_Bo	112,32	0,0001
Organiza a los cosechadores y podadores dentro de la finca	Or_Co_Po	8,85	0,0120
Señalizó puntos de las matas enfermas, para reducir el movimiento de persona	Se_Pe_Mp	4,16	0,1250
Toma atención con el movimiento de suelo en corrientes de agua	To_Ms_Ca	26,09	0,0001
Evita pasar la gente entre las fincas	Ev_Pa_Ge	61,53	0,0001
Delimita bordes de fincas y con zanjas para reducir movimiento de suelo	De_Bo_Za	94,54	0,0001
Aplica materia orgánica, bioles, MM y biofermentos	Ap_Mo_Bo	15,9	0,0004
Revisa las plantaciones del vecino para identificar Marchitez por Fusarium	Re_Pl_Ve	3,15	0,2069
Participa en capacitaciones	Pa_Ca	93,19	0,0001
Esta desinfectando sus herramientas, seleccionando la herramientas una para la planta enferma y sana	De_Herr	9,14	0,0104
Selecciona semilla sana y de buena calidad	Se_Sem_Bc	96,36	0,0001
Suelo bien nutrido y fértil	Su_Nut_Fert	72,24	0,0001
Mantiene distancia de siembra en la finca para asegurar barrera de mata en caso de llegada de la enfermedad	Dit_Barr	93,73	0,0001
Realiza la cirugía desde las plantas manualmente, para identificar si tiene Marchitez por Fusarium, se limita el uso del machete	Ci_Id_Foc	41,76	0,0001
Elimina plantas enfermas y sospechosas a Marchitez por Fusarium	Eli_Pe_Sp	64,39	0,0001

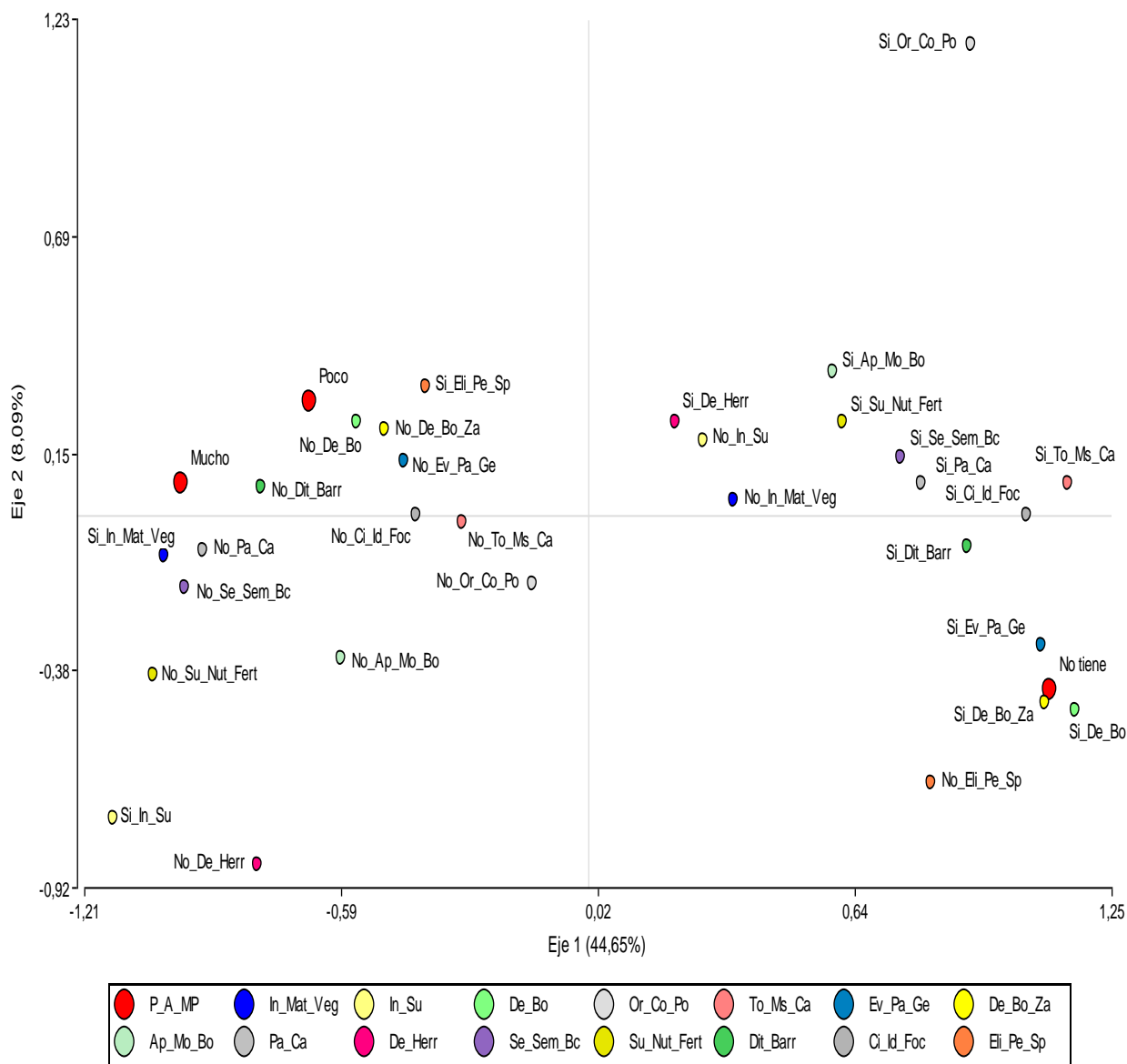


Figura 30. Análisis de correspondencia de las variables presencia y/o ausencia de Marchitez por Fusarium (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*) entre las prácticas de control integrado para la enfermedad. Donde: No Introduce Material Vegetal (No\_In\_Mat\_Veg), No introduce suelo (No\_Su), Desinfecta botas ingresa a su finca (De\_Bo\_In\_Fi), organiza a los cosechadores, podadores (Or\_Co\_Po), selecciona plantas enfermas para disminuir el movimientos de personas sobre el punto (Se\_Pe\_Mp), toma atención el movimiento del suelo por la corriente de agua (To\_Ms\_Ca), delimita los bordes de la finca con zanjas (De\_Bo\_Za), aplica materia orgánica, biofermentos, vióles, MM (Ap\_Mo\_Bo), revisa plantas vecinas (Re\_Pl\_Ve), participa en la capacitación (Pa\_Ca), desinfecta herramienta (De\_Herr), selecciona semilla sana y de buena calidad (Se\_Sem\_Bc), abonamiento (Su\_Nut\_Fert), distanciamiento entre plantas entre los linderos, barreras naturales (Dit\_Barr), cirugías para identificar Marchitez por Fusarium (Ci\_Id\_Foc) y eliminación de las plantas sospechosas (Eli\_Pe\_Sp).

#### 4.1.9 Clasificación de productores con base en prácticas de manejo de la Marchitez por Fusarium y características de los sistemas de producción

Con base en las prácticas de manejo de la Marchitez por Fusarium que ejecuta el productor y sus características de los sistemas de producción de banano se identificaron tres grupos principales de productores (Figura 31, Cuadro 09, Figura 32).

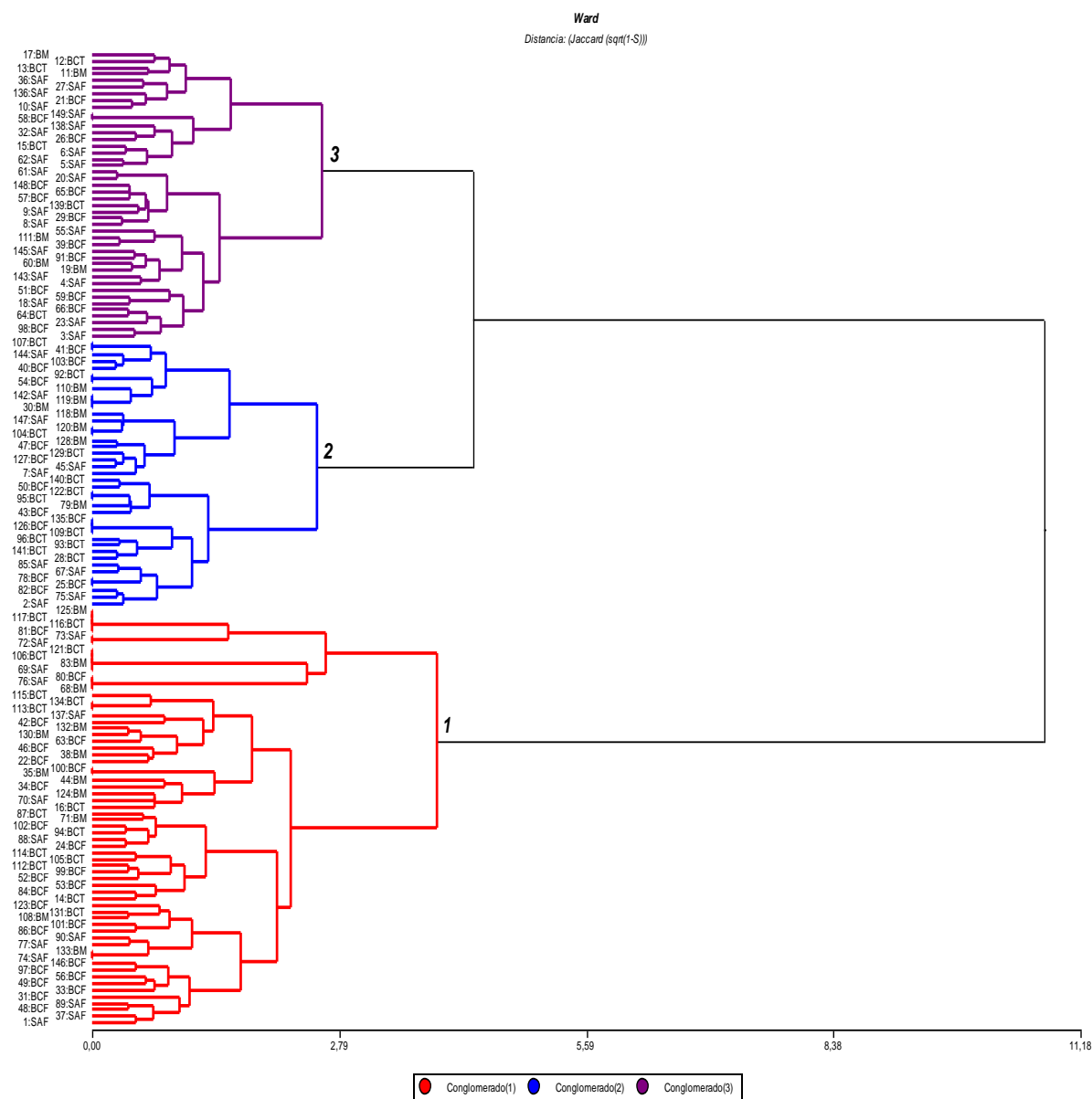


Figura 31. Dendrograma resultante del análisis de conglomerados (método de Ward, distancia Jaccard), para las 149 fincas considerando las prácticas de manejo de la Marchitez por Fusarium y sus sistemas de producción de banano- San Luís de Shuaro-Perú.

*Cuadro 9. Conglomerado de los productores con sus características en sus sistemas producción de banano entre las prácticas de manejo a la Marchitez por Fusarium analizado mediante las Tablas de contingencias ( $p \leq 0,05$ )*

Variable	abreviado	chi <sup>2</sup>	Valor p
Introduce material de siembra de otras fincas	In_Mat_Veg	77,98	0,0001
Introduce suelo	In_Su	61,45	0,0001
Desinfecta las botas de los trabajadores y vecinos antes de ingresar a la finca	De_Bo	36,44	0,0001
Organiza a los cosechadores y podadores dentro de la finca	Or_Co_Po	37,73	0,0001
Señalizó puntos de las matas enfermas, para reducir el movimiento de persona	Se_Pe_Mp	18,39	0,0001
Toma atención con el movimiento de suelo en corrientes de agua	To_Ms_Ca	26,57	0,0001
Evita pasar la gente entre las fincas	Ev_Pa_Ge	40,33	0,0001
Delimita bordes de fincas y con zanjas para reducir movimiento de suelo	De_Bo_Za	8,76	0,0125
Aplica materia orgánica, controladores biológicos, biofermentos	Ap_Mo_Bo	31,33	0,0001
Revisa las plantaciones del vecino para identificar Marchitez por Fusarium	Re_Pl_Ve	4,69	0,0959
Participa en capacitaciones	Pa_Ca	124,08	0,0001
Esta desinfectando sus herramientas, seleccionando la herramientas una para la planta enferma y sana	De_Herr	27,35	0,0001
Selecciona semilla sana y de buena calidad	Se_Sem_Bc	96,64	0,0001
Suelo bien nutrido y fértil	Su_Nut_Fert	81,13	0,0001
Mantiene distancia de siembra en la finca para asegurar barrera de mata en caso de llegada de la enfermedad	Dit_Barr	82,37	0,0001
Realiza la cirugía desde las plantas, para identificar si tiene Marchitez por Fusarium, se limita el uso del machete	Ci_Id_Foc	48,67	0,0001
Elimina plantas enfermas y sospechosas a Marchitez por Fusarium	Eli_Pe_Sp	42,91	0,0001

Un primer grupo (1) se caracteriza por las actividades que limitan las introducciones de material vegetal (In\_Mat\_Veg), no vende ni regala la semilla del campo, seleccionan semilla vigorosas, sanas y de buena calidad de su propia finca (Se\_Sem\_Bc), manteniendo un suelo fértil con nutrientes por que realizan el abonamiento (Su\_Nut\_Fert), evitando pasar gente del lugar donde esta el material en descomposición entre las fincas (Ev\_Pa\_Ge), uso de cal en los puntos de entrada del campo, también delimitan los bordes con zanjas para reducir el arrastre



de suelo, y tejidos vegetales de las partes altas y de los colindantes, asegura que el suelo no se erosione fuera del campo (De\_Bo\_Za), organizando a los cosechadores y podadores (Or\_Co\_Po), educándose más y participando en las capacitaciones (Pa\_Ca).

El segundo grupo (2) se caracteriza por realizar, la eliminación de plantas enfermas y sospechosas (El\_Pe\_Sp), cortando pseudotallos con o sin síntomas de la mata enferma, pican y amontonan agregando cal y ceniza, para acelerar la descomposición, desinfectando las herramientas (De\_Herr), con el hipoclorito de sodio (Lejía), señalizó, puntos de las plantas enfermas, para reducir el movimiento de personas (Se\_Pe\_Mp), para no diseminar la enfermedad. Una actividad sobresaliente es la no introducción de suelo (In\_Su), donde proviene mayormente de los plantones de café y especies forestales de los viveros elaborados con sustratos y composteras con tallos enfermos con Marchitez por Fusarium o de dudosa procedencia. También toma atención al suelo en botas, pie y vehículos.

El tercer grupo (3) se caracteriza por la aplicación de materia orgánica (Ap\_Mo\_Bo), microorganismo eficientes, MM, biofermentos, lixiviado de raquis del banano, el distanciamiento de las plantas entre los linderos (Dit\_Barr), mantienen distancia de siembra en la finca para asegurar barrera de mata en caso de llegada de la enfermedad, donde también presentan barreras naturales, desinfectan las botas antes de ingresar a sus fincas (De\_Bo\_In\_Fi), colocando muchas veces letreros de alerta a las personas que transitan, así mismo toman atención el movimiento de suelo por las corrientes de agua (To\_Ms\_Ca), realizando drenajes profundos y que los canales pasan al costado de su finca, realiza la cirugía desde las plantas pequeñas manualmente, para identificar si tienen la Marchitez por Fusarium, se limita el uso del machete (Ci\_Pl\_Id\_Foc).

El grupo que ofrece mejores resultados para el manejo de marchitez por Fusarium es el de conglomerado 1, ya que se observaron el uso de prácticas adecuadas. Estas fincas no presentaron la enfermedad. Se fortaleció al productor con capacitaciones, pusieron en práctica la selección de hijuelos vigorosos, propio material vegetal de su misma finca con condiciones sanitarias del hijuelo, abonamiento con fuentes orgánicas, aplicación de cal antes de la instalación del banano, desinfección en los puntos de entrada para el movimiento de personas dentro de su finca y realización de zanjas en los bordes de la finca. Este grupo pone mucha atención a las prácticas agronómicas para no permitir el ingreso del patógeno a su finca.

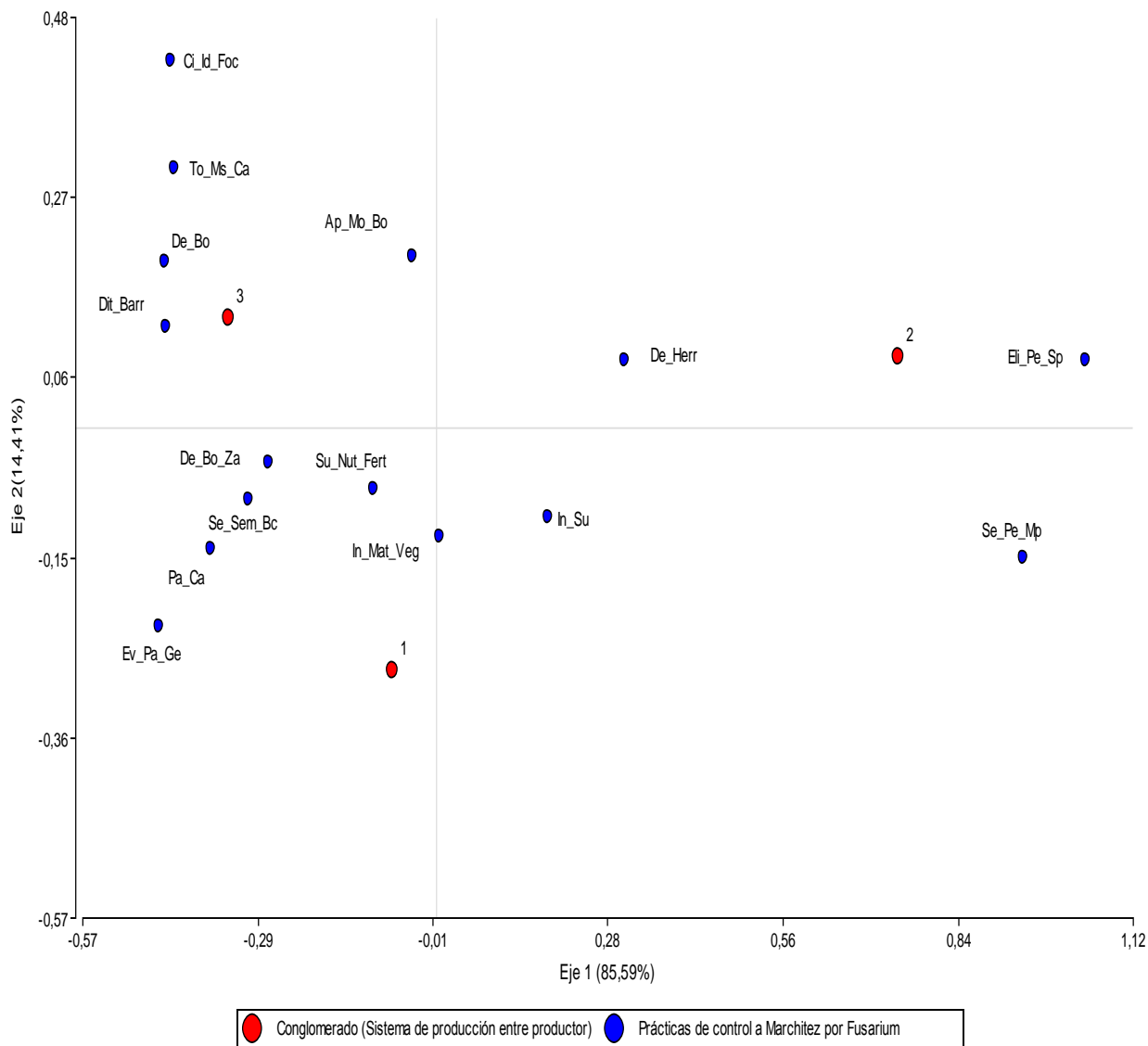


Figura 32. Análisis de correspondencia del agrupamiento de los productores de acuerdo a las actividades de control para Marchitez por Fusarium donde: Introduce Material Vegetal (In\_Mat\_Veg), Introduce suelo (No\_Su), Desinfecta botas ingresa a su finca (De\_Bo\_In\_Fi), organiza a los cosechadores, podadores (Or\_Co\_Po), selecciona plantas enfermas para disminuir el movimientos de personas sobre el punto (Se\_Pe\_Mp), toma atención el movimiento del suelo por la corriente de agua (To\_Ms\_Ca), delimita los bordes de la finca con zanjas (De\_Bo\_Za), aplica materia orgánica, biofermentos, viales, MM (Ap\_Mo\_Bo), revisa plantas vecinas (Re\_Pl\_Ve), participa en la capacitación (Pa\_Ca), desinfecta herramienta (De\_Herr), selecciona semilla sana y de buena calidad (Se\_Sem\_Bc), abonamiento (Su\_Nut\_Fert), distanciamiento entre plantas entre los linderos, barreras naturales (Dit\_Barr), cirugías para identificar Marchitez por Fusarium (Ci\_Id\_Foc) y eliminación de las plantas sospechosas (Eli\_Pe\_Sp).

#### ***4.1.10 Caracterización de los sistemas de producción de banano con base a los indicadores de calidad de suelo y salud del cultivo***

El análisis de componentes principales realizado con las variables sistemas de producción de banano y las variables de los indicadores de salud de suelo permitió la separación clara de los 4 sistemas de producción (Figura 33). En el sistema de producción en monocultivo (BM) se visualiza una asociación con la densidad de plantas y la pendiente. Estas variables revelaron también ligera asociación con el sistema de producción de banano asociados con café (BCF), probablemente por el hecho de que los productores instalan el banano antes del café y buscan desde el principio tener la mayor cantidad de plantas posibles por hectárea. El sistema de producción de bananos bajo árboles (BSAF), aparece altamente asociado con la presencia de sombra y los valores de pH con tendencia a neutro, en estos tipos de sistema existe una acumulación de biomasa en el suelo por los restos vegetales de los árboles y arbustos presentes en estos agroecosistemas, así mismo se observó residuos en varios estados de descomposición. Mientras el banano con cítricos (BCT) está asociado con la inclinación de la pendiente y orientación del vértice.

La separación entre los sistemas de producción fue corroborada por el análisis de correspondencia (Figura 34), donde se muestra que BM se asocia con indicadores negativos de la profundidad, estructura del suelo y desarrollo de raíces (Pattison et ál. 2006; Pattison et ál. 2008). La deforestación y quema de los montes, el maltrato de la capa arable del suelo para el establecimiento del banano en estos sistemas puede explicar esta asociación (Mills y Fey 2003). Se encontró una fuerte asociación del sistema BSAF con la cobertura de suelo, color, olor de la materia orgánica, actividad biológica y restos vegetales. Este resultado era esperado, por la acumulación de restos vegetales (hojarasca) propiciada por los árboles, así como la vegetación espontánea y la presencia de cobertura vegetal identificada en estos sistemas (Barrance et ál. 2003; Albertin y Nair 2004; Van Asten et ál. 2012, Perez 2012). En el caso de los bananos asociados con café (BCF), se encontró una relación con la actividad biológica y restos vegetales, indicando que en estos sistemas hay acumulación de materia orgánica (Van Asten et ál. 2012). En los bananos asociados con cítricos (BCT) se verificó una relación con la erosión del suelo, probablemente porque en general estas fincas están instaladas en situaciones que favorecen la pérdida de suelo (MPCH 2011).

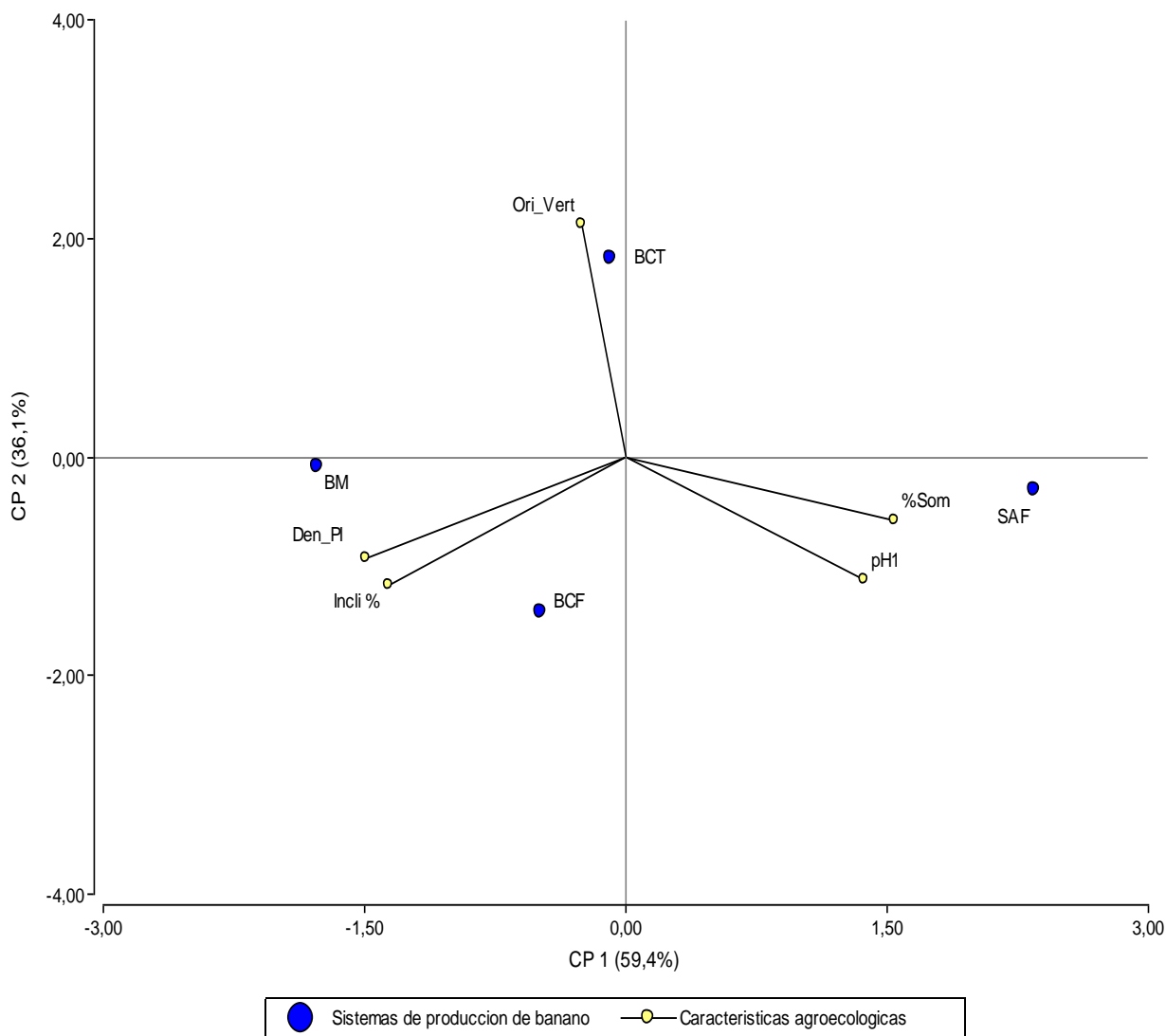


Figura 33. Análisis de componentes principales de los sistemas de producción de banano con los indicadores agroecológicos. Donde: Porcentaje de sombra (%Som), orientación del vértice (Ori\_Vert), pH (acidez del suelo), Inclínación de la pendiente (Incli%), densidad de plantas (Den\_Pl).

Estudios de Pattison et ál. (2006), informa que los sistemas de producción de banano convencional mostraron una mayor densidad aparente, menos carbono orgánico, más cationes intercambiables, mayores cantidades de nemátodos parásitos de plantas y menos diversidad de los microorganismo, en comparación con los sistemas orgánicos y/o suelos menos perturbados, donde se presento menos la densidad aparente relacionando con la salud de la raíz, la actividad microbiana y el carbono del suelo. Confirmando los resultados de los indicadores de la salud del suelo que presentan los sistemas de producción de banano tanto el monocultivo convencional que no es sostenible y el BSAF que tiene mejores características

físicas, químicas y biológicas. Siendo necesario hacer unos estudios más minuciosos de la diversidad de la comunidad microflora del suelo como son los nemátodos en los diferentes sistemas de producción de banano en el Perú.

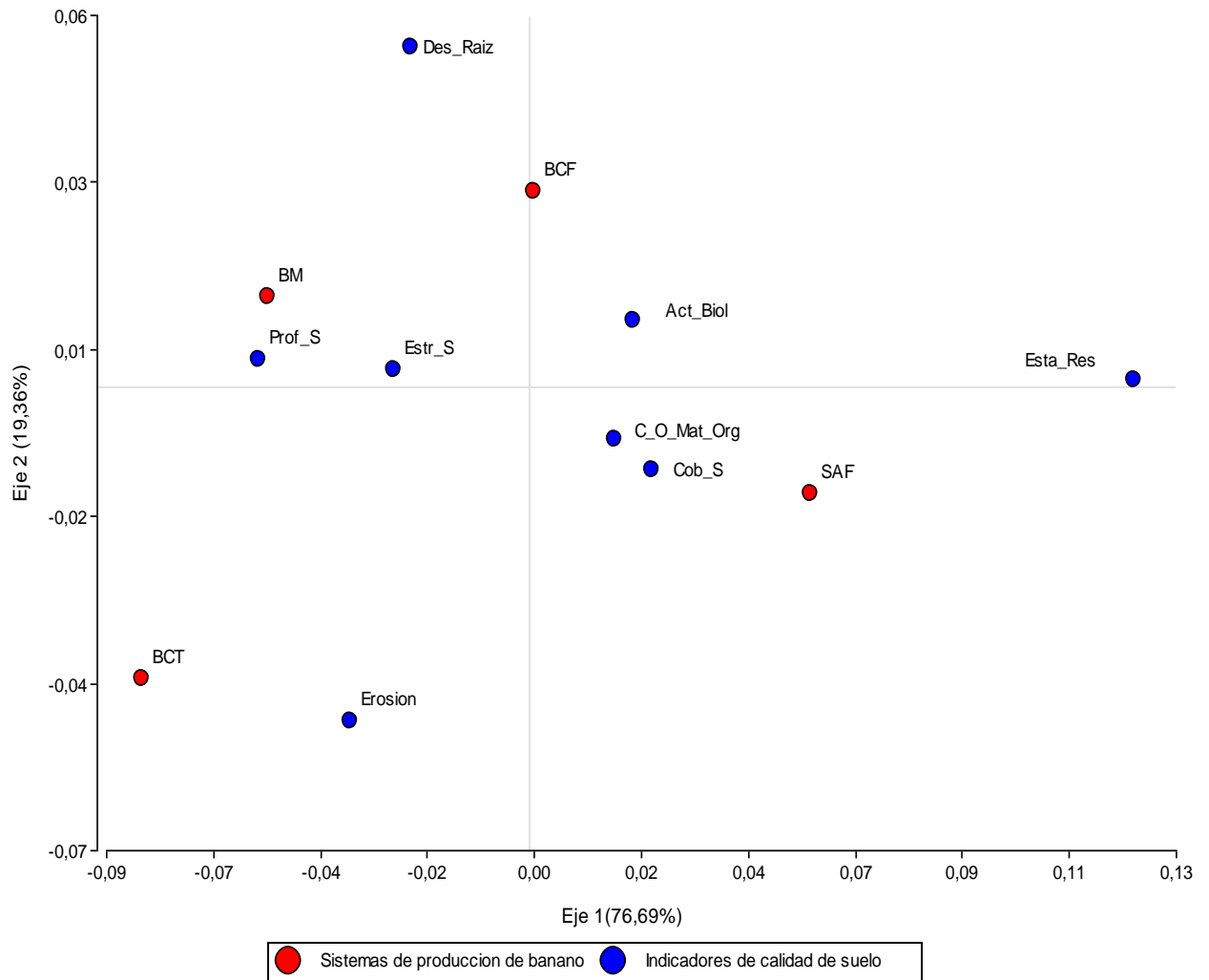


Figura 34. Análisis de correspondencia de los sistemas de producción de banano entre los indicadores calidad de suelo. Estructura (Estr\_S), profundidad de suelo (Prof\_S), Estados de residuos (Esta\_Res), Color, olor y materia orgánica (C\_O\_Mat\_Org), desarrollo de raíces (Des\_Raiz), cobertura de suelo (Cob\_S), Erosión (Erosión), Actividad biológica (Act\_Biol).

El análisis de los indicadores de salud del cultivo (Figura 35) reveló que el sistema de producción BM está asociado con prácticas de manejo de la cepa (MCH) y mayor incidencia de enfermedades (Inc\_Enf), ya el sistema BCT se mostró relacionado con la apariencia del cultivo (apariciencia), la diversidad natural circundante (Diver\_Nat\_Circ), competencia de malezas (Compe-Male) e incidencia de enfermedades (Inc-Enf). En estos sistemas se

realizaron continuamente la limpieza de campo, muchas veces haciendo uso de plaguicidas y poseen rutas de acceso para la comercialización. Las plagas más frecuente son el Picudo negro y se observó también deficiencias nutricionales. En los sistemas BCF y BSAF se observó asociación con el sistema de manejo del cultivo (Sist\_Ma) y la diversidad vegetal (Diver\_Vegetal), encontrando fincas que vienen implementando su manejo integrado del cultivo con medidas compatibles al medio ambiente, como la desinfección de los hijuelos con agua hervida, uso de abonos orgánicos, ceniza, entre otros, existiendo abundante diversidad vegetal con más de tres cultivos en el campo y que están sujetas a la certificación orgánica.

Los resultados de indicadores de salud del suelo y la planta (Figura 34 y 35), muestran que las mejores condiciones de la planta de banano son los sistemas agroforestales, porque protegen mejor la microflora del suelo, presentando ideales condiciones biológicas, físicas y químicas, además de tener plantas vigorosas. Según, Vaquero 2003, indica que las características físicas que afectan el balance agua – aire y la consistencia del suelo, se refleja en el crecimiento del sistema de raíces de la planta y por consiguiente en la productividad del cultivo, de igual manera, Turner (2003), menciona que las raíces son la casa de los microorganismos que influyen la fisiología radical y Sikora (2003), a mostrado en diferentes investigaciones que la interacción entre el banano y hongos endofíticos específicos son importantes para la salud y el crecimiento de la raíz, confirmando los resultados de la asociación de los indicadores de salud del cultivo con los sistemas de producción BSAF y BCF.

Es importante mencionar que la edad de las variedades de banano (Datos no mostrados), fluctúan desde menos de cinco años hasta mayores de 15 años en la región. La variedad Isla es la más precoz produciendo un racimo a los 8 meses, en altitudes menores de los 800 msnm y al año en altitudes mayores de 1000 msnm. Generalmente, las plantaciones de Isla en la región se explotan aproximadamente por 5 años antes de ser renovadas. Las variedades Seda, Morado, Largo, Bellaco y Bizcocho producen sus racimos más tardíamente y son explotadas hasta por 30 años (Conversación personal con los productores de la zona). Estas observaciones coinciden con lo reportado por Krauss et ál. (1999) al respecto de ciclos de variedades de banano en el Perú.

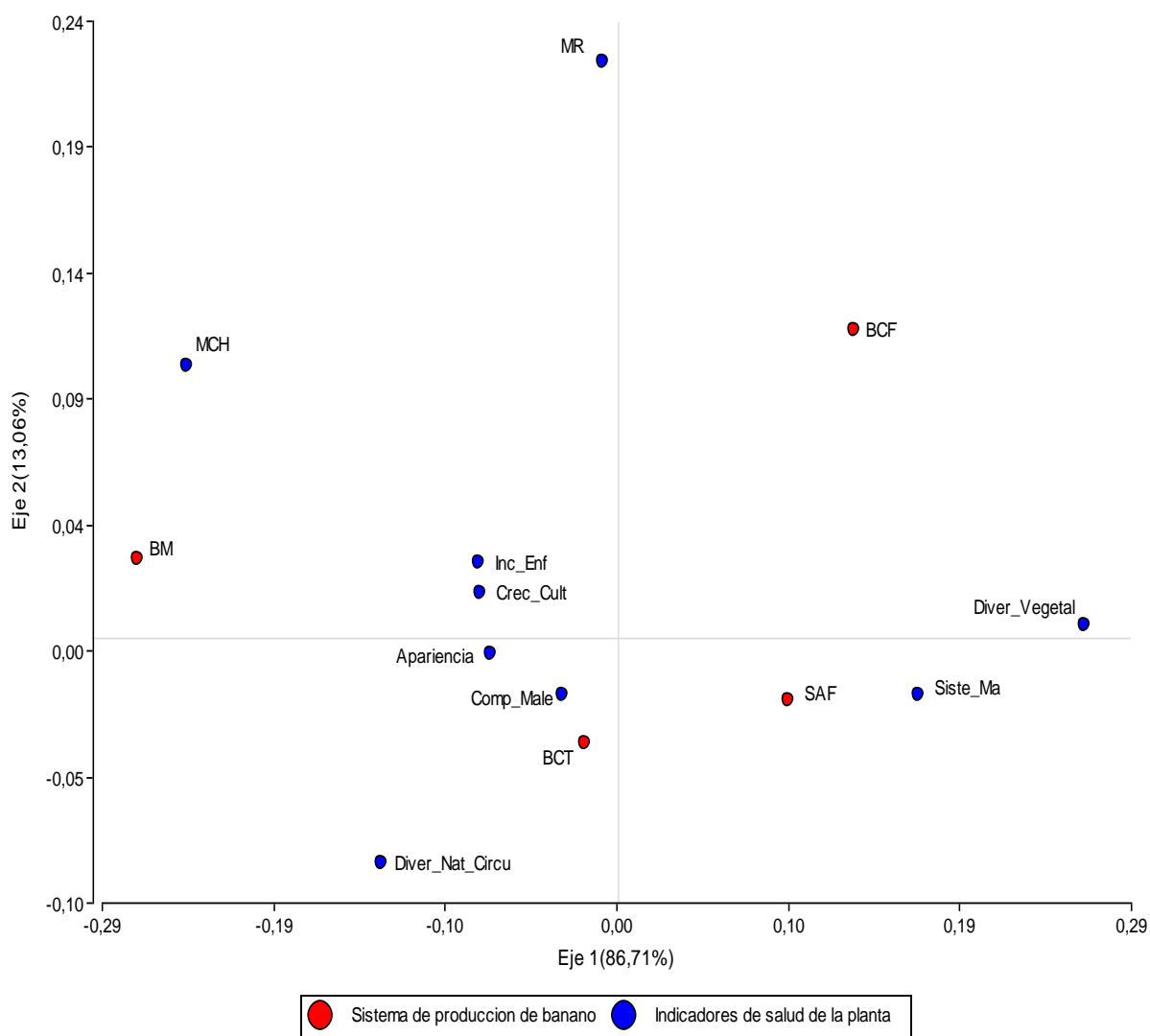


Figura 35. Análisis de correspondencia de los sistemas de producción de banano entre los indicadores de salud del cultivo. Donde: Manejo de la cepa (MCH), Diversidad Natural Circundante (Diver\_Nat\_Circu), Apariencia (Apariencia), Crecimiento del cultivo (Crec\_Cult), Incidencia de enfermedades (Inc\_Enf), Competencia de malezas (Comp\_Male), Diversidad Vegetal (Diver\_Vegetal), Sistema de manejo (Siste\_Ma).

## **4.2 Diagnóstico de la Marchitez por Fusarium en bananos en el distrito de San Luís de Shuaro, provincia de Chanchamayo, Perú**

### ***4.2.1 Intensidad y distribución de la Marchitez por Fusarium en bananos en el distrito***

Considerando los resultados obtenidos en el objetivo 1, donde se verificó la existencia de diferentes combinaciones de variedades en las fincas (Figura 15) y la presencia de la Marchitez por Fusarium en la mayoría de las variedades independientemente del sistema de producción (Figura 26) se formaron 5 grupos combinando variedades o mezclas de variedades independientemente del sistema de producción principal en la que se encontraban (Cuadro 3). Considerando estos grupos se seleccionaron 76 fincas, 60 de las cuales presentaban la Marchitez por Fusarium y el resto fueron identificadas como libres de la enfermedad. En este grupo de 76 fincas y 5 grupos diferentes de variedades, se estudió la incidencia y la intensidad de la Marchitez por Fusarium, así como la posible influencia de algunos factores agroecológicos sobre el desarrollo de la enfermedad.

Se determinó que la incidencia de la Marchitez por Fusarium en el distrito de San Luís de Shuaro se encontraba entre valores de 0,15 hasta el 19,74 %. Al ser este el primer reporte de cuantificación de la Marchitez por Fusarium en el Perú, imposibilitó la comparación con otras regiones del país. Sin embargo, datos en otros países como Costa Rica, Honduras y Nicaragua donde aún se cultivan variedades susceptibles a la raza 1 como Gros Michel (Seda) (Siles et ál. 2010; Tapia et ál. 2010), muestran una incidencia de 16% (Pocasangre et ál. 2010). Otros estudios realizados por Lichtemberg et ál. (2010) reportan la incidencia 7.31% encontradas en 33% de 30 fincas evaluadas en el Cantón de Turrialba – Costa Rica, considerando moderadamente afectado y diferenciándose la tasa de incidencia por debajo de los países Asiáticos. Por lo tanto, la incidencia de la Marchitez por Fusarium del banano en el distrito de San Luís de Shuaro la evidenciamos como línea base que esta dentro de los límites de su agresividad antes de convertirse en una epidemia en la región.

Con los valores de incidencia y severidad se determinó que existía correlación entre estas variables (Figura 36). El modelo lineal que representa la relación entre incidencia y severidad, explica una parte significativa de la variación de la severidad. Este tipo de relación se ajusta a lo reportado para otros patógenos del suelo como: añublo de plántulas de chile



causado por *Phytophthora capsici*, pudrición de granos del maíz causada por *Fusarium verticilloides* y pudrición de las raíces de frijol por *Fusarium* (Arneson 2006), también la Fusariosis de la espiga del trigo causado por *Fusarium graminearum* (Madden et ál. 2007), dichos autores proporcionan la ecuación  $x=QRt$  (Q = Cantidad de inóculo, R = Progreso de la enfermedad, t = Tiempo) y modelos matemáticos para estimar las epidemia de los hongos del suelo representado por los regresiones lineales (Arneson 2006).

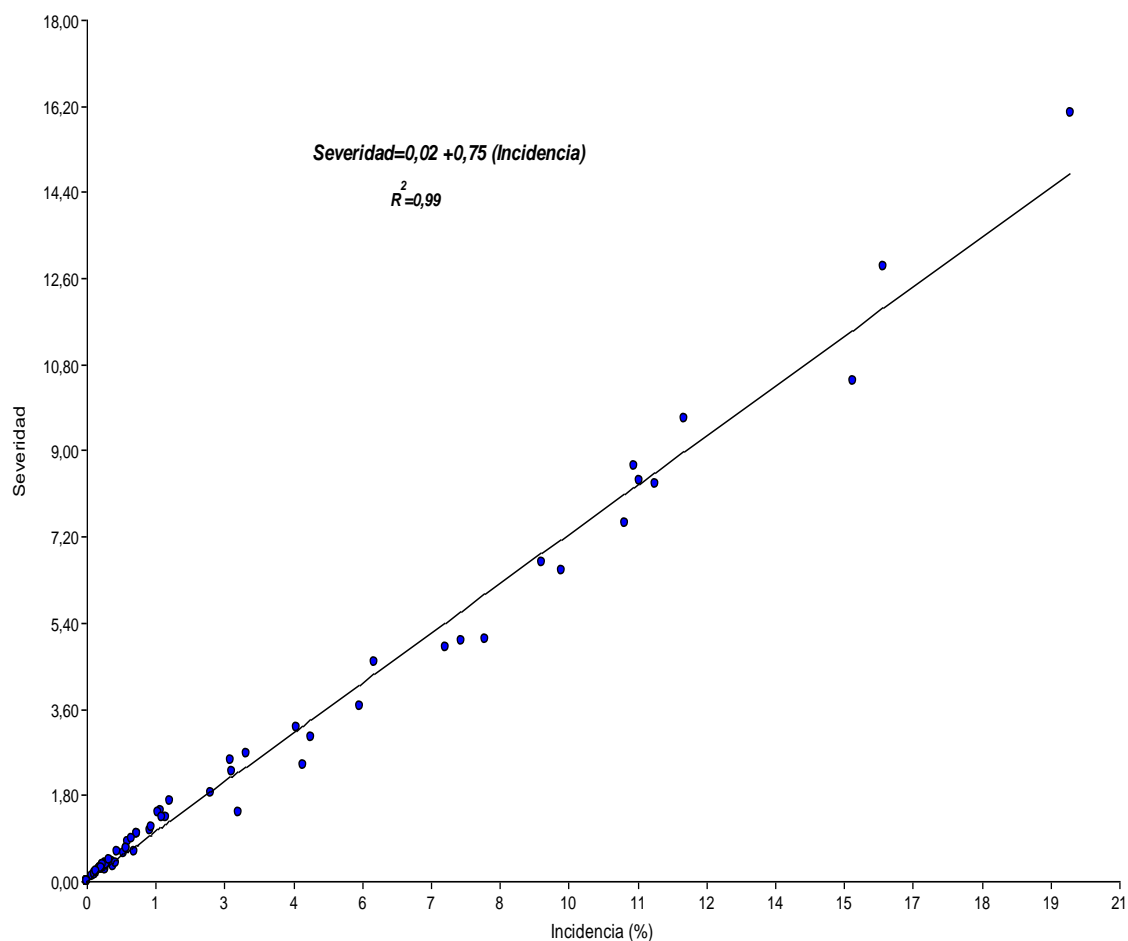


Figura 36. La severidad e incidencia de la Marchitez por *Fusarium* (*Fusarium oxysporum* f. sp. cubense) del banano en fincas productoras del distrito de San Luís de Shuaro, Chanchamayo – Perú, analizados mediante la regresión lineal.

Al existir una correlación positiva entre severidad e incidencia, los análisis subsecuentes se realizaron utilizando como base los datos de incidencia. De esta forma los valores de incidencia fueron utilizados para establecer cuatro categorías (Cuadro 10). Estas categorías se confrontaron con el número de fincas (Cuadro 10), grupo de variedades (Figura 37), sistemas de producción de banano (Figura 38), así como su ubicación geográfica (Figura 39).

Se pudo observar que aunque la mayoría de las fincas (> 60%) presentaban valores de hasta 2.5% de incidencia, existía un 25 % de ellas con valores iguales o superiores al 5% de incidencia de la enfermedad (Cuadro 10). Es importante resaltar que fincas con altos niveles de incidencia (>de 5%) de la enfermedad son considerados del alto riesgo para la zona. Este riesgo se viene dando no solo por comprometer la producción rentable de la finca, sino por el potencial de actuar como fuente de inóculo para otras plantaciones. Sin embargo, sólo unos pocos países estudian y examinan la incidencia de FOC en detalle como Costa Rica (7.3%) (Lichtemberg et ál. 2010), Colombia (0,3%) con una prevalencia de 4.3% (Merchán 2002), Bangladesh (4,27 a 24%) (Hossain y Rashid 1999), donde se consideró alta la incidencia de FOC y en Malasia fincas de pequeños productores que tienen menos de 2 hectáreas la enfermedad llegó hasta el 50% (Jamaluddin et ál. 1999). Entre tanto, investigaciones de Tushemereirwe y Ploetz (1993), en Uganda reportó la Marchitez por *Fusarium* en bananos sobre los 1400 msnm, en estado continuo de cultivo mayores de 30 años, donde indica que la incidencia de la enfermedad es generalmente menos del 5%, coincidiendo con nuestros reportes de la incidencia con algunas fincas que se ubicaron a mayor altitud (Figura 39).

*Cuadro 10. Distribución de fincas de acuerdo a la incidencia (%) de la Marchitez por Fusarium (Fusarium oxysporum f.sp. cubense).*

Categoría de la incidencia (%) de Marchitez por Fusarium	Incidencia %	Numero de fincas
Categoría 1	0	16
Categoría 2	0,1 - 2,5	38
Categoría 3	2,6 - 4,9	7
Categoría 4	5 >	15

Cuando se analizó la asociación de las categorías de incidencia con los grupos de variedades previamente establecidos, se verificó que la mayor incidencia de la enfermedad se encuentra cuando la variedad Isla está en monocultivo (Figura 37 y 38). Además todas las fincas de esta variedad en monocultivo no solo presentaban la enfermedad, sino que además tenían altos valores de incidencia. Cuando se analizó esta variedad en sistemas agroforestales o mezcladas con otras variedades, los valores de incidencia fueron menores. Esto puede ser debido tanto a la influencia del sistema de producción *per se* sobre la enfermedad como a factores de propios de las mezclas de variedades donde eventualmente la presencia de esta variedad era menor en el conjunto de la mezcla. En la categoría de ausencia de la enfermedad

solo se relacionaron fincas del grupo Mix/SAF, indicando que de las fincas seleccionadas como libres de la enfermedad pertenecían a estas condiciones.

Trabajos previos realizados en este patosistema mostraron que los mayores valores de incidencia y severidad de la Marchitez por *Fusarium* del banano se presentaban en sistemas de producción de monocultivo con altos insumos (Pegg et ál. 1996; Ploetz 2005), donde el patógeno se puede desarrollar muy rápidamente (Abang et ál. 2006), y ésta agresividad se supone por la falta de la biodiversidad del suelo (Pattison et ál. 2006), siendo la enfermedad menos frecuente en sistemas de cultivo asociados o con tendencia a la producción orgánica (Pattison et ál. 2010). Adicionalmente, en los patosistemas de bananos asociados con árboles también se ha verificado tendencia similar, así mismo estas fincas se vienen manejando orgánicamente (Pattison et ál. 2012; Bonanomi et ál. 2010) y están sujetas a la certificación. A través de las aplicaciones de los abonos orgánicos aumentan la biomasa del suelo y estimulan la actividad microbiana (Mader et ál. 2002). Es posible que las condiciones del suelo preferenciales creados en virtud de los sistemas de producción orgánica pueden haber influido en la tolerancia de la planta al estrés por el crecimiento de raíces y señales hormonales Erb et ál. (2009). Asimismo Altieri (1999), menciona que estos sistemas (BSAF) están orientados a mejorar la protección física, química y biológica del suelo, los efectos sobre el microclima, el reciclaje de nutrientes y la diversificación de la producción. Por lo tanto, todos estos factores mencionados posiblemente han sido determinantes para bloquear el proceso de infección de la marchitez por *Fusarium*, en las fincas que no se constató la enfermedad, siendo necesario continuar con estudios más minuciosos en estos sistemas de banano.

Diversas investigaciones soportan nuestros resultados como la de Merchán (2002), que reportó la incidencia de la marchitez por *Fusarium* en sistemas de monocultivo (4,3%) y en los bananos asociados e intercalados presentaron (0%) de incidencia de FOC, de igual manera de Silagyi y Pocasangre (2003), encontraron fincas con incidencia (0%) en Costa Rica, Talamanca, debido a la biodiversidad en las fincas de banano evaluadas. También los resultados obtenidos pueden confirmar con la investigación realizada por Geense (2010), quién evaluó suelos agrícolas del sistema de manejo orgánicos y convencional, para verificar donde es más resistente a la Marchitez por *Fusarium*, obteniendo que los suelos donde existe mayor actividad microbiana presentan menor incidencia de la enfermedad. Así mismo menciona que el manejo cuidadoso de la composición de las enmiendas orgánicas, tiempo de aplicación y la frecuencia puede influir en el suelo para la supresividad de la marchitez por

Fusarium, manteniendo relación con los resultados en las fincas que no presentaron la enfermedad, cuando aplican estas prácticas.

Con el fin de luchar contra FOC raza 4 se realizaron estudios por Linbing Xu et ál. (2011) donde demostró en un análisis de costo – beneficio la producción de la diversidad de bananos de seis cultivares del sub grupo Cavendish (Baxijiao, Dajiao, Guanfen N°1, Fenzha N°1, Gongjiao y Haigongjiao), plantadas en zonas donde esta presente la enfermedad FOC TR4, comparando las características económicas, costos, beneficios así como las ventajas y desventajas de la aplicación de la rotación, donde menciona que la inversión por instalación de banano es de \$4400/ha, alcanzando después un beneficio de \$2200/ha. Concluyendo que la rotación de estos cultivares pueden mantener la biodiversidad, así como mejorar el desarrollo sostenible del cultivo de banano. Reconociendo nuestro resultado donde existen grupos de variedades que a pesar de tener la presencia de la Marchitez por Fusarium en una finca mantienen aún la biodiversidad, la seguridad alimentaria y la caja chica continua del productor del distrito de San Luís de Shuaro.

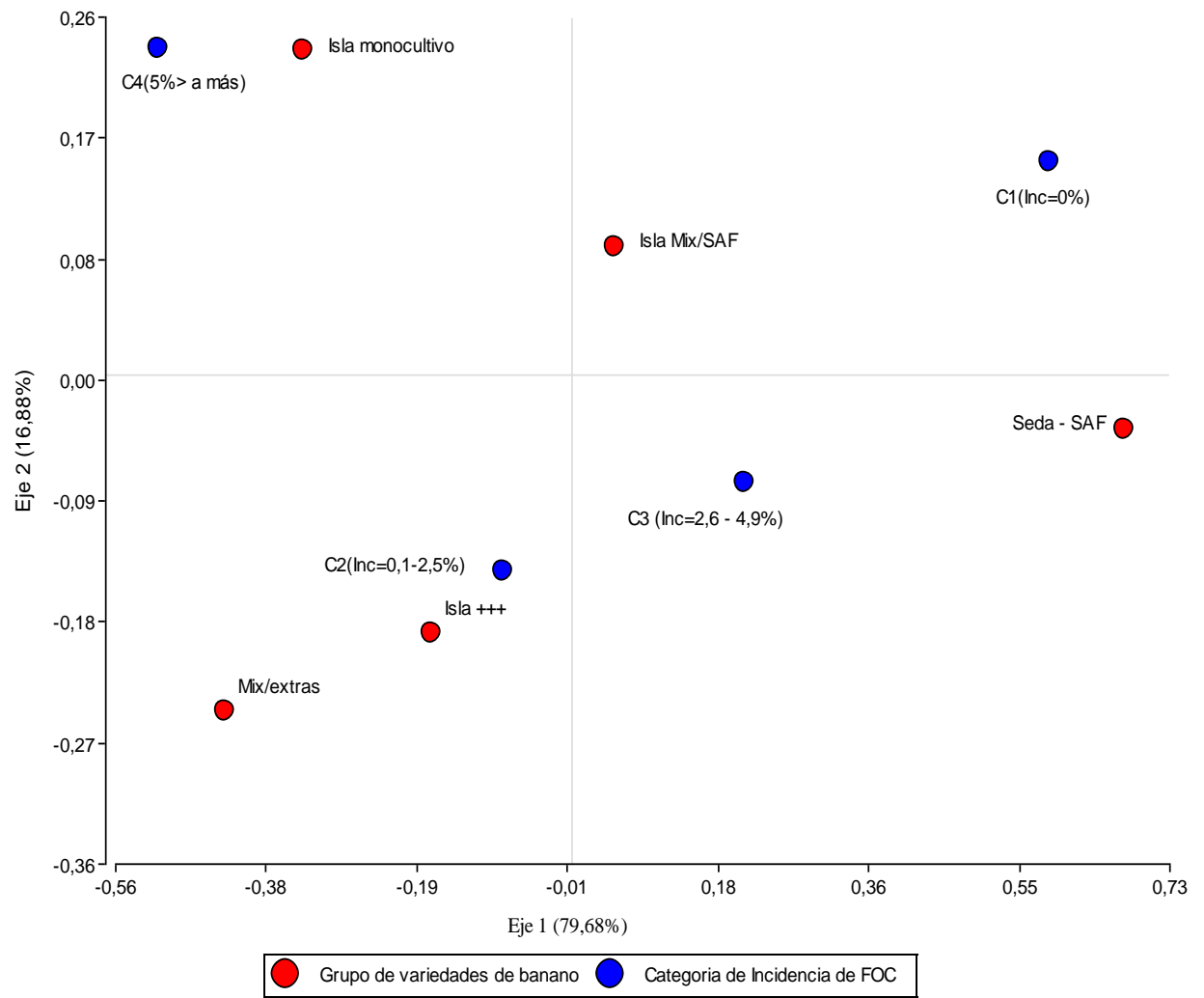


Figura 37. Análisis de correspondencia entre variables grupo de variedades de banano y categorías de incidencia de la Marchitez por *Fusarium* del banano.

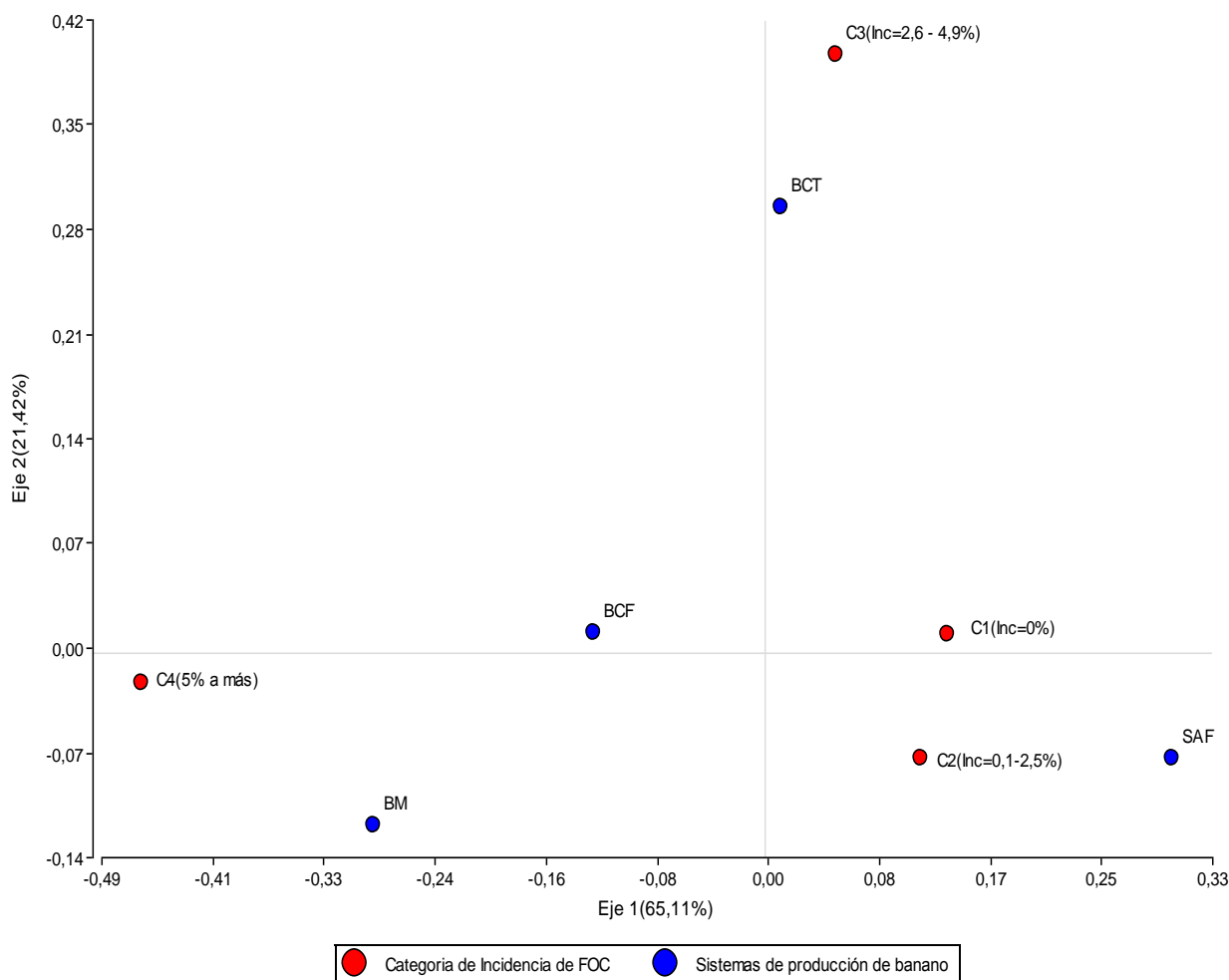


Figura 38. Análisis de correspondencia entre los sistemas de producción de banano y las categorías de incidencia de Marchitez por Fusarium del banano.

Cuando se analizó la relación entre las categorías de incidencia con la ubicación geográfica de las fincas incluyendo las tres microcuencas (Paucartambo, Sanchirio Palomar y Puñizas) del distrito de San Luís de Shuaro se verificó que no existe cualquier asociación entre las microcuencas con la ausencia de la Marchitez por Fusarium (Figura 39). Sin embargo, se debe resaltar el caso de sector de Santa Rosa de Yapaz, donde se localizaron niveles altos de intensidad la enfermedad (Figura 39). Es importante resaltar que en este sector los vecinos venden e intercambian el material de siembra (hijuelos) sin ningún control de su selección y existe además desconocimiento por parte de muchos productores sobre la enfermedad.

Análisis del histórico de las medias anuales de precipitaciones y temperaturas en las diferentes zonas tampoco mostraron relación con la incidencia de la enfermedad (Anexo 5 y 6). Sin embargo, estudios realizados por Kung'u et ál. (2001), observó la no presencia de la Marchitez por *Fusarium* en tres zonas categorizadas por la temperatura (18-20°C), (16-18°C) y (14-16°C), donde reporta que los bananos también crecen bastante bien. Análisis más precisos de las condiciones y prácticas de cada finca deben ser realizados con el fin de verificar asociaciones geofísicas con la incidencia o severidad de la enfermedad. Adicionalmente, el hecho de encontrar altos valores de incidencia de la Marchitez por *Fusarium* en diferentes altitudes incluso superiores a los 1300 msnm sugiere que no hay cualquier interferencia de esta variable.

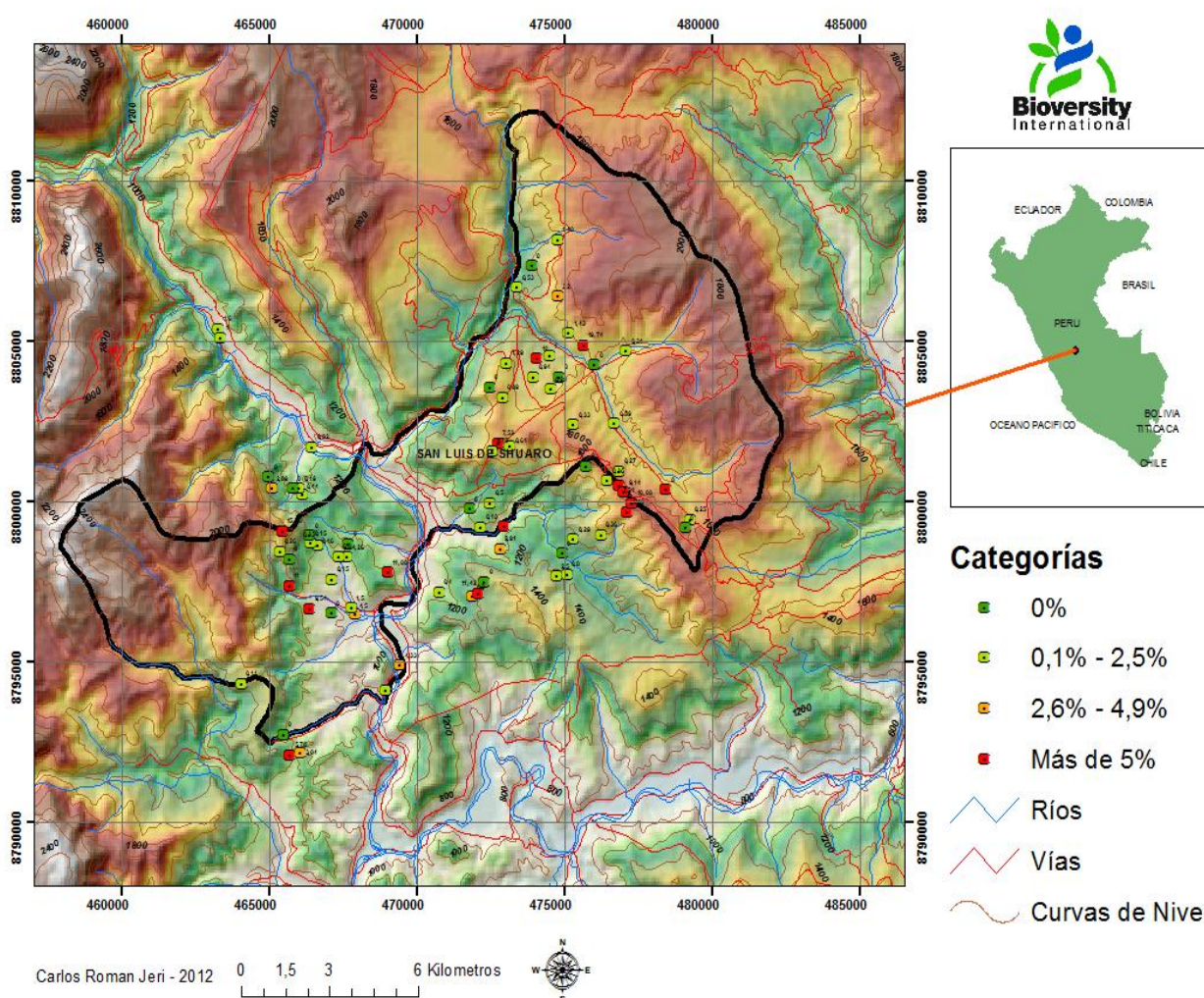


Figura 39. Mapa de distribución de la intensidad de la Marchitez por *Fusarium* del banano, distribuido en categorías de incidencia de la enfermedad en fincas de producción del banano del distrito de San Luís de Shuaro, Provincia de Chanchamayo, Perú.

#### ***4.2.2 Factores agroecológicos y/o manejo, asociados con el desarrollo, diseminación y distribución de la enfermedad***

Dentro de los factores agroecológicos evaluados (Cuadro 11), solamente el pH y el porcentaje de sombra mostraron asociación significativa con la incidencia de Marchitez por Fusarium. Suelos con valores de pH más bajos (suelos ácidos) y áreas con menor cantidad de sombra favorecieron la incidencia de la Marchitez por Fusarium.

El pH, influye tanto sobre las plantas como sobre los patógenos (Dominguez et ál. 2001; Peng et ál. 1999). En el caso de la Marchitez por Fusarium se ha relatado que pH ácidos favorecen la enfermedad y que aquellos cercanos a 7 son menos favorables (Wolf&Jones 1981; Álvares et ál. 1981; Dominguez et ál. 2001). Es interesante notar que en áreas afectadas por FOC se detectaron suelos ácidos siendo los resultados similares a los obtenidos por Malburg et ál. (1984) y Zhong et ál. (2011). Entre tanto en las áreas sin la presencia de la enfermedad, están siempre asociados a una mayor concentración de materia orgánica (Embrapa 1987; Nash 2007; Geense 2010; Pattison et ál. 2012) y mayor disponibilidad de Ca, Mg y Zn intercambiable (Álvarez et ál. 1981; Gutiérrez et ál. 1983; Borges et ál. 1983) y mejores propiedades de suelo (Stotzky et ál. 1963; Baker y Cook 1974; Tavares 1986; Peng et ál. 1999). Estas variables que no fueron cuantificadas en este estudio necesitan ser verificadas en la región de San Luís de Shuaro para determinar su asociación con la supresividad de la enfermedad.

En el caso de la sombra, la misma podría estar influenciando el desarrollo de la enfermedad por dos factores diferentes. Un primer factor podrá ser la transpiración. El banano es una planta C3 (Sierra et ál. 2010), esto implica el uso eficiente del agua a través de la fotosíntesis entre la transpiración. Según Cook y Peppendick, (1972), el desarrollo de la marchitez por Fusarium en los bananos está relacionado a la intensidad de la transpiración que facilita el movimiento de las esporas en el sistema vascular que provocan la obstrucción de los vasos con tapones de distinta naturaleza (gomas, geles). Un segundo factor podría ser que en las condiciones de mayor sombra existe normalmente mayor contenido de materia orgánica con mayor actividad biológica (Mader et ál. 2002; Pattison et ál. 2006), creando condiciones de supresividad (Berg et ál. 2009; Mendes et ál. 2011; Pattison et ál. 2012). Ambas hipótesis necesitan ser corroboradas con experimentos en campo. Adicionalmente, condiciones de mayor porcentaje de sombra podrían estar también asociadas a los valores de pH ligeramente



ácidos (pH = 5,6 – 7). En ese caso ambos factores podrían estar actuando en conjunto para disminuir las condiciones favorables de ocurrencia de la enfermedad.

El Área del cultivo de banano A\_P (ha), Altitud, Inclinación (Incli%), Orientación de la vértice (Vert\_Orie) y la densidad de plantas (Den\_Plan), no mostraron asociación con la incidencia o no de la Marchitez por Fusarium. De esta forma FOC, que es un patógeno de suelo y sobrevive por largos períodos parece no ser influenciado por la altitud, pendiente o densidad de plantas por hectárea.

*Cuadro 11. Análisis de correlación entre la incidencia de la Marchitez por Fusarium y un grupo de variables agroecológicas ( $p \leq 0,05$ )*

Incidencia		
Variables	r	Valor p
Área Á_P(ha)	-0,0015	0,9894
Altitud	0,1288	0,2673
Acidez del suelo (pH)	-0,6771	<0,0001
Pendiente (pend%)	0,1503	0,1949
Densidad de plantas (Den_Plan)	0,0588	0,6139
Porcentaje de Sombra (Som%)	-0,2788	<0,0147

Cuando se analizó el efecto de las prácticas de manejo específicas para la Marchitez por Fusarium (Cuadro 12) sobre la intensidad de la enfermedad se verificó que la introducción de hijuelos a la finca es una práctica altamente correlacionada, demostrando que si **No** introducimos material vegetal de otros campos plataneros y/o enfatizamos el criterio en la selección del hijuelo por la presencia de FOC la intensidad es menor o nula, el mismo resultado describen (Daniells 2010; Ploetz 2010), como la primera recomendación dentro del manejo integrado de la marchitez por Fusarium debe aplicarse la evasión de la presencia del patógeno.

También si introducimos suelo mediante los plantones de café y frutales, provenientes de suelo desconocido o de campos de cultivo donde el banano ha muerto por la presencia de FOC, está asociada con el incremento de la enfermedad en la finca (Moore *et ál.* 1995), por lo tanto se debe aplicar dentro del manejo integrado de la enfermedad la evasión y exclusión del patógeno (Ploetz 2010), especialmente en las fincas que no presentaron la enfermedad y en zonas libres de toda la selva central del Perú.

Como el patógeno se mueve de forma antropogénica (Perez et ál. 2010), se deben de aplicar todas las prácticas correctivas (Cuadro 12), para prevenir y disminuir la presencia del

patógeno. Este resultado demuestra que las prácticas de los productores bien ejecutadas reducen considerablemente la presencia de la Marchitez por Fusarium, lo cual nos especifica que si no tomamos dichas medidas el patógeno se introduce y se disemina en zonas libres. Muchas investigaciones refuerzan los resultados de las actividades para prevenir y manejar la Marchitez por Fusarium, aplicando técnicas sobre un buen manejo integrado de la enfermedad (Van Der Plank 1963; Berger 1977; Daniells 2010; Ploetz 2010) y esto no debe ser descuidado (Dita 2011), como son todas las actividades relacionadas que ha tenido impacto en la supresión del hongo: la desinfección de las botas, organizar a los cosechadores y podadores, desinfectando las herramientas, con lejía (Tanner 1989; Moore et ál. 1999; Nel et ál. 2007), tomar atención al movimiento de suelo en la corriente de agua (Davis 2005), aplicación de materia orgánica (Mader et ál. 2002; Weller et ál. 2003; Pattison et ál. 2012), el uso del compost (Termorshuizen et ál. 2007; Bonanomi et ál. 2010), aplicación de aguas miel (Nelson y Boehm 2002), la aplicación de ceniza y melaza (Ruthenford y Kangire 2000), aplicación y conservación de la biodiversidad de hongos antagonistas (Saravanan et ál. 2003; Perez et ál. 2009; Sudarma et ál. 2011), la fertilización a base de las fuentes orgánicas y de las harinas de rocas (Restrepo y Pinheiro 2009, Geense 2010), aplicación de extractos vegetales en combinación con agentes biológicos (Akila 2011), siendo la agricultura orgánica una forma práctica de integrar y manejar estos aspectos ya mencionados en forma ecológica, logrando el control del patógeno a través de la promoción de suelos saludables con alta actividad biológica (Mader et ál. 2002; Pattison *et ál.* 2008; Pattison et ál. 2012) y por otra parte la agricultura orgánica tiene un principio de mantener y aumentar la biodiversidad del suelo agrícola.

Teniendo más prácticas reforzados por los trabajos de investigación, como son: evitar que las personas pasen por la finca, realizando cercos alámbricos como medidas de saneamiento (Ploetz 2010; Perez 2010), mantener distanciamientos largos entre plantas (Berger 1977; Daly et ál. 2006), entre los linderos mantener barreras naturales (Jarvis et ál. 2011) y/o instalación de hileras con variedades resistentes que actúan como barreras a la dispersión del patógeno (Wolfey y Finckh 1997), la eliminación y remoción de las plantas enfermas, sacando todos los hijuelos y aplicando ceniza y cal (Daniells 2010; Ruthenford y Kangire 2000), realizar cirugías de las hojas maduras para identificar anticipadamente la presencia de FOC (Daly et ál. 2006), prolongando la vida útil de la plantación, estudios por el mismo autor menciona que se duplicaría el ciclo de vida si reconocemos tempranamente la enfermedad. Las cuarentenas implican no vender y regalar hijuelos de las fincas donde está

presente la enfermedad, como primera línea de acción para no diseminar el patógeno (Ruthenford y Kangire 2000).

En la zona se viene usando el agua hervida para la desinfección de los hijuelos, a temperaturas de 90 a 110°C (Cuadro 7, Figura 17), estudios de Daly et ál. 2006, determinó el tiempo y la temperatura para matar FOC TR4 estableciendo 65°C durante 20 minutos en agua caliente para matar hifas, microconidias y macroconidias en el tejido vegetal del plátano, pero las clamidospora requieren tratamientos en autoclave para matarlos. Por lo tanto, la desinfección con agua hervida tiene un efecto de control a ciertas estructuras del hongo. Sin embargo, para el control de nemátodos y Picudo negro en sus diferentes estados de huevo y larva son muy eficientes en su control (Speijer et ál. 1999). De todas maneras es importante realizar estudios más minuciosos de sus efectos al patógeno. Mientras tanto continuaran estas prácticas de desinfección de los hijuelos por ser una medida compatible al medio ambiente y de fácil elaboración.

*Cuadro 12. Análisis de tablas de contingencias contrastando el uso de las prácticas de manejo con la intensidad de la Marchitez por Fusarium (F. oxysporum f. sp. cubense) en banano en fincas del distrito de San Luís de Shuaro, Perú.*

Variable	Abreviado	Chi <sup>2</sup>	Valor p	Relación incidencia con
Introduce material de siembra de otras fincas	In_Mat_Veg	19,65	0,0001	aumenta
Introduce suelo	In_Su	9,31	0,0023	aumenta
Desinfecta las botas de los trabajadores y vecinos antes de ingresar a la finca	De_Bo	22,05	0,0001	disminuye
Organiza a los cosechadores y podadores dentro de la finca	Or_Co_Po	7,26	0,0071	disminuye
Señalizo puntos de las matas enfermas, para reducir el movimiento de persona	Se_Pe_Mp	0,17	0,6777	No asociado
Toma atención con el movimiento de suelo en corrientes de agua	To_Ms_Ca	6,12	0,0134	disminuye
Evita pasar la gente entre las fincas	Ev_Pa_Ge	6,03	0,0141	disminuye
Delimita bordes de fincas y con zanjas para reducir movimiento de suelo	De_Bo_Za	0,25	0,6143	No asociado
Aplica materia orgánica, viores, MM, biofermentos	Ap_Mo_Bo	9,10	0,0026	disminuye
Revisa las plantaciones del vecino para identificar Marchitez por Fusarium	Re_Pl_Ve	0,46	0,4954	No asociado
Participa en capacitaciones	Pa_Ca	36,77	0,0001	disminuye
Desinfecta sus herramientas, seleccionando la herramientas una para la planta enferma y sana	De_Herr	5,20	0,0226	disminuye
Selecciona semilla sana y de buena calidad	Se_Sem_Bc	32,51	0,0001	disminuye
Suelo bien nutrido y fértil	Su_Nut_Fert	24,39	0,0001	disminuye
Mantiene distancia de siembra en la finca para asegurar barrera de mata en caso de llegada de la enfermedad, presencia de barreras naturales, al contorno	Dit_Barr	30,41	0,0001	disminuye
Realiza la cirugía desde las plantas, para identificar si tiene Marchitez por Fusarium, se limita el uso del machete	Ci_Id_Foc	16,40	0,0001	disminuye
Elimina plantas enfermas y sospechosas a Marchitez por Fusarium	Eli_Pe_Sp	14,99	0,0001	disminuye

En cuanto la edad y el ciclo fenológico de los bananos entre las categorías de incidencia de Marchitez por *Fusarium* no mostraron una asociación significativa ( $p>0,05$ ) (Datos no mostrados). Según investigaciones de Hwag et ál. (2004) reporta el ciclo de la marchitez por *Fusarium*, donde indica, que uno de los síntomas es el amarillamiento de las hojas a los 5 meses después de la siembra, aumentando después en la emergencia de la inflorescencia y la más alta agresividad del patógeno se produce en la maduración del racimo, antes de la cosecha. Confirmando nuestros resultados, que la enfermedad se presenta más en la floración y en la maduración del racimo.

#### 4.2.3 Factores relacionados con la dispersión e intensidad de la Marchitez por *Fusarium* del banano en fincas del Distrito San Luís de Shuaro, Perú

En el análisis del método de la telaraña (Figura 40), se visualiza que los cosechadores y/o podadores que realizan el movimiento continuo dentro la finca de suelo, tejidos vegetales y el movimiento de la semilla (hijuelo), son los que tienen mayor relación con la dispersión de la Marchitez por *Fusarium*.

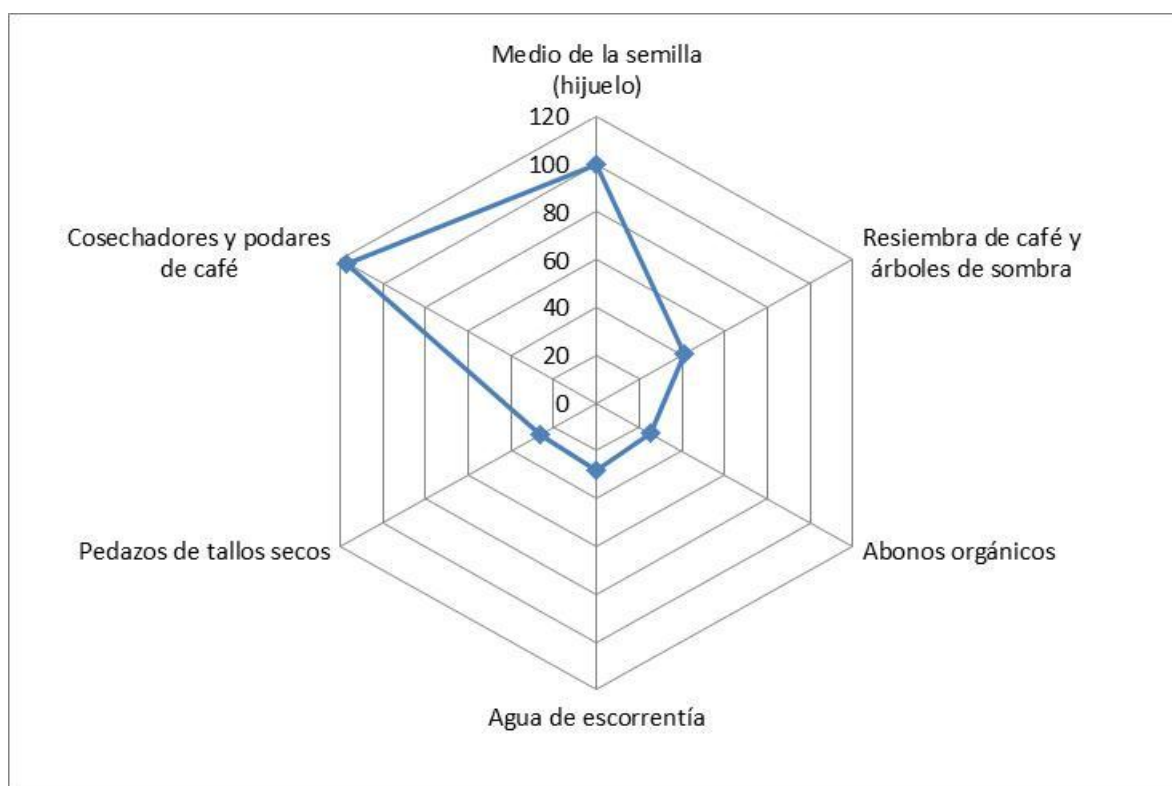


Figura 40. Asociación de factores de riesgo con la diseminación de la Marchitez por *Fusarium* (*Fusarium oxysporum* f. sp. cubense), en el distrito de San Luís de Shuaro. Perú.

En la actualidad el movimiento de semilla en la región se realiza por medio de los hijuelos, obteniendo un material genético, sin las condiciones óptimas de calidad y sanidad. En tanto con los cosechadores y podadores, no se les capacita sobre la enfermedad de la Marchitez por Fusarium, dejando esta actividad muy débil por parte de las instituciones ligadas al sector y los dueños de las fincas. Es importante mencionar las actividades y prácticas que ejecutan los productores del sector Mariscal Castilla del distrito de San Luís de Shuaro, quiénes están implementando la propagación de su material vegetativo mediante la técnica de las cámaras térmicas con la finalidad de mejorar la calidad y sanidad de su semilla. Así mismo capacitando a sus trabajadores durante la cosecha y poda de café.

De igual forma a través de las fuentes de agua, arrastrando suelo de las pendientes alta a bajas y los pedazos de tejidos de tallos y hojas secas con la Marchitez por Fusarium que son incorporados en la materia orgánica (Thurston 1989), es otro medio de alto riesgo de diseminación. En la actualidad los productores cosechan sus racimos dejándolos en el suelo, posteriormente lo cubren con las hojas secas, y cortan las plantas sin tomar atención de la sanidad de la planta. Estos factores son las formas de como llega y/o llegará Marchitez por Fusarium en los diferentes sistemas de producción de banano. Es importante mencionar la percepción de los agricultores plataneros, quienes también indican que la aves y los insectos son medios de diseminación de la Marchitez por Fusarium.

#### ***4.2.4 Tetraedro de la Marchitez por Fusarium***

Para determinar las interacciones de los factores que inciden el desarrollo de la enfermedad de Marchitez por Fusarium, tomando en consideración el tetraedro de la enfermedad propuesto por ZadoKs y Shein (1979), se realizó un análisis de todos los factores del porcentaje de sombra (%Somb), pH, indicadores de suelo y sanidad del cultivo y prácticas de manejo sobre la enfermedad asociadas a la intensidad de la Marchitez por Fusarium. Antes de proceder con el análisis, los indicadores de calidad de suelo y salud de la planta, pH, porcentaje de sombra, se agruparon en tres categorías (Cuadro 13).

El análisis de estas categorías (Cuadro 14), para el caso de los indicadores de salud de suelo y sanidad del cultivo, reveló que todos los indicadores analizados excepto la estructura (CATEstr\_S) y profundidad de suelo (CATProf\_S) y el manejo de la cepa (CATMCH), mostraron asociación con la intensidad de la Marchitez por Fusarium.

*Cuadro 13. Categorización de los indicadores de salud de suelo, sanidad del cultivo y de las variables, pH, porcentaje de sombra (Som%). \*Los rangos de los indicadores de salud de suelo y sanidad del cultivo se basan en valores de 0 – 10 (Anexo 3). Rangos de pH y % de sombra se basan en valores de mediciones realizadas durante el estudio.*

Variables	Abreviado	C1*	C2*	C3*
Estructura del suelo	CATEstr_S	0 - 3	4-6.	7-10.
Profundidad de suelo	CATProf_S	0 - 3	4-6.	7-10.
Estado de residuos	CATEsta_Res	0 - 3	4-6.	7-10.
Color, olor y Materia Orgánica	CATO_Mat_Org	0 - 3	4-6.	7-10.
Desarrollo de raíces	CATDes_Raiz	0 - 3	4-6.	7-10.
Cobertura del suelo	CATCob_S	0 - 3	4-6.	7-10.
Erosión del suelo	CATErosion	0 - 3	4-6.	7-10.
Actividad Biológica	CATAct_Biol	0 - 3	4-6.	7-10.
Apariencia	CATApariencia	0 - 3	4-6.	7-10.
Crecimiento del cultivo	CATCrec_Cult	0 - 3	4-6.	7-10.
Incidencia de enfermedades	CATInc_Enf	0 - 3	4-6.	7-10.
Competencia de malezas	CATComp_Male	0 - 3	4-6.	7-10.
Diversidad Vegetal	CATDiver_Natur	0 - 3	4-6.	7-10.
Diversidad natural circundante	CATD_N_Circun	0 - 3	4-6.	7-10.
Sistema de manejo	CATSiste_Ma	0 - 3	4-6.	7-10.
Manejo del racimo	CATMR	0 - 3	4-6.	7-10.
Manejo de la cepa	CATMCH	0 - 3	4-6.	7-10.
Acidez del suelo	CATpH	3-4,5	4,6- 5,5	5,6-7,0
Porcentaje de sombra	CATSom	0-18%	19-35%	36-63%

\*C1= Desfavorable,\* C2 = Medio, \*C3 = Alto

Es bien conocido que la estructura y profundidad de suelo pueden jugar un papel importante en la intensidad de enfermedades de suelo (Cook y Baker 1983). Es posible que la manera de coleccionar esta información sobre estas variables en este estudio (vía encuestas) no haya revelado resultados más precisos que las pudieran asociar con la intensidad de la enfermedad. Alternativamente, estas variables pudieran no ser efectivamente decisivas para que la Marchitez por *Fusarium* se manifieste (incidencia) en las fincas estudiadas y su dependencia debe estar más relacionadas con el progreso de la misma después de la infección (Ploetz 2006). Estudios más específicos sobre estas variables son necesarios para verificar el papel de estas variables en la zona de estudio. En el caso del manejo de la cepa o desahije (manejo de la cepa a través de la remoción de hijos) parece ser que la manera como se realiza en la región no influye en la enfermedad o que su papel en la diseminación de la enfermedad es enmascarado por otros factores. Sin embargo, dependiendo de la manera como se realiza, esta práctica puede ser una vía eficiente de dispersión de la enfermedad a través de la

adherencia del patógeno en las herramientas utilizadas (Moore et ál. 1995; Rutherford y Kangire 2000; Davis 2005; Daly y Walduck 2006; Pocasangre et ál. 2010; Ploetz 2010).

*Cuadro 14. Asociación de las categorías de indicadores de suelo y sanidad de la planta con la Marchitez por Fusarium ( $p \leq 0,05$ ).*

Variable	Abreviado	Chi <sup>2</sup>	Valor p
Estructura del suelo	CATEstr_S	1,90	0,5933
Profundidad de suelo	CATProf_S	3,17	0,3666
Estado de residuos	CATEsta_Res	42,55	0,0001
Color, Olor y Materia Orgánica	CATO_Mat_Org	36,61	0,0001
Desarrollo de raíces	CATDes_Raiz	60,78	0,0001
Cobertura del suelo	CATCob_S	43,16	0,0001
Erosión del suelo	CATERosion	19,75	0,0001
Actividad Biológica	CATAct_Biol	39,09	0,0001
Apariencia	CATApariencia	52,01	0,0001
Crecimiento del cultivo	CATCrec_Cult	40,4	0,0001
Incidencia de enfermedades	CATInc_Enf	52,76	0,0001
Competencia de malezas	CATComp_Male	57,77	0,0001
Diversidad Vegetal	CATDiver_Natur	29,25	0,0001
Diversidad natural circundante	CATD_N_Circun	72,93	0,0001
Sistema de manejo	CATSiste_Ma	13,95	0,0302
Manejo del racimo	CATMR	17,00	0,0007
Manejo de la cepa	CATMCH	3,17	0,3666

En base a los indicadores de calidad de suelo y salud del cultivo que mostraron asociación significativa con la incidencia de Marchitez por Fusarium (Cuadro 14) se realizó el análisis de conglomerado<sup>2</sup> que resultó en la separación de cuatro grupos principales de fincas (Figura 41). De estos grupos, los conglomerados 1 y 3 se diferenciaron estadísticamente del resto y el conglomerado 2 y 4 no se diferenciaron entre si (Anexo 6). Las fincas agrupadas en el conglomerado 1, se caracterizan porque tienen los valores intermedios de los indicadores de calidad de suelo y salud del cultivo donde existen 36 fincas evaluadas, en el conglomerado 2 y 4, se caracteriza por tener los mejores indicadores de calidad de suelo y salud del cultivo, donde existen 9 y 5 productores, esta agrupación a pesar que no hay diferencias estadísticamente significativa obedece a identificar mejor a los productores que vienen

<sup>2</sup> Los conglomerados son técnicas de clasificación basadas en agrupamiento que implican la distribución de las unidades de estudio en clases o categorías de manera tal que cada clase (conglomerado) reúne unidades cuya similitud es máximo bajo un criterio que el objetivo comparten el mayor número permisibles de características y que los grupos tienden a ser distintos (Balzarini et ál., 2008).



implementando con éxito el control de la marchitez de *Fusarium*, así como también sus factores bióticos y abióticos del agroecosistema del banano que les brinda en su finca el mismo que se visualiza (Figura 42), mientras el conglomerado 3, se caracterizan con los valores más bajos de los indicadores de suelo y salud del cultivo donde existen 26 Fincas.

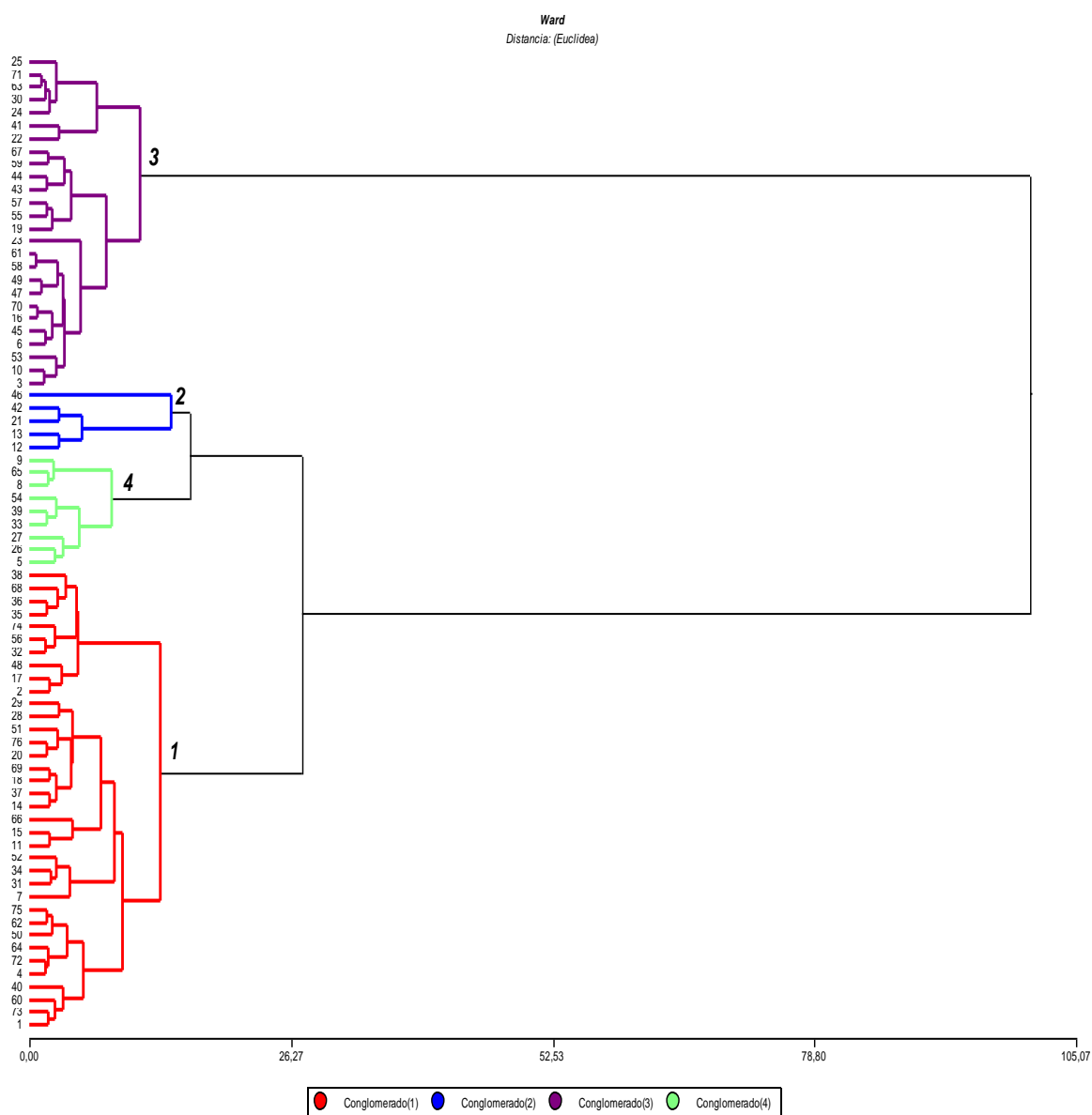


Figura 41. Dendrograma resultante del análisis de conglomerados (método de Ward, distancia Euclídea), de indicadores de calidad de suelo y salud de la planta que mostraron asociación significativa con la incidencia de la Marchitez por *Fusarium* en 76 fincas productoras de banano en el Distrito San Luís de Shuaro-Perú.

El análisis de la asociación y/o correspondencia de todas las variables que mostraron asociación con la intensidad de la enfermedad (porcentaje de sombra (%Som), Acidez del suelo (pH), conglomerados de indicadores de suelo y sanidad de las plantas, Prácticas de manejo de la Marchitez por Fusarium) con las categorías de incidencia de la enfermedad y grupo de variedades con sus sistemas de producción, permitió visualizar de manera integral el peso de cada una de estas variables en el patosistema en estudio (Cuadro 15, Figura 42).

Se pudo corroborar que la mayor incidencia de Marchitez por Fusarium está en fincas con valores de pH más ácidos (3,8-4,5), con peores resultados en el análisis de indicadores de calidad de suelo y salud del cultivo (conglomerado 3) que presentan bajos niveles de sombra. Además se puede visualizar que fincas de banano en monocultivo y/o donde introducen material vegetal a la finca (Si\_In\_Mat\_Veg), no aplican materia orgánica, bioles, biofermentos, lixiviados (No\_Ap\_Mo\_Bo), no desinfectan herramientas (No\_De\_Herr), introducen suelo (Si\_In\_Su), mediante hijuelos malos (No\_Se\_Bc) con tierra, raíces y otros tejidos vegetales, están asociadas con mayores índices de incidencia de la enfermedad (Cuadro 15, Figura 42). Por otro lado, fincas con valores de pH tendiendo a la neutralidad (5,6 – 7,0), con buenos índices de calidad de suelo y salud del cultivo y/o instaladas en sistemas agroforestales y donde se aplican adecuadas prácticas de manejo están más relacionadas con bajos valores o ausencia de la Marchitez por Fusarium. También se pudo observar que existen fincas que tienen índices intermedios de indicadores de salud de suelo y realizan prácticas adecuadas para el manejo de la enfermedad tienen la presencia de Marchitez por Fusarium. Esta situación refleja la dificultad de controlar la Marchitez por Fusarium del banano una vez que esté establecida (Moorelet et ál. 2005; Ploetz et ál. 2000; Viljoen 2002; Dita 2010)

En la presente investigación la Marchitez por Fusarium se reportó más en los sistemas de producción de monocultivo, concordando lo mencionado por Ploetz (2010), que en estos sistemas de monocultivo aumenta el patógeno independientemente del programa de fertilización. Por su parte, Jarvis et ál (2011), indica que en estos tipos de sistemas de producción hay un riesgo de perder una variedad tradicional porque son más propensas a la severidad del patógeno, también se les conoce como vulnerabilidad genética (FAO 1998), poniendo en peligro a las variedades susceptibles reportadas en la investigación, que además de ser únicas en América, como el Isla y Palillo, no se tendría material vegetal para los productores a futuro, comprometiendo la seguridad alimentaria.

En las fincas donde no se constató la presencia de Marchitez por *Fusarium* muestran los mejores indicadores de suelo y salud de la planta (Figura 42, Anexo 6), en estas fincas se encontraron mucha materia orgánica en el cultivo y donde el productor está aplicando enmiendas al suelo, el uso de las aguas miel que aplican puro a todas las plantas de banano, todas estas prácticas tienen un rol importante en el crecimiento radicular y también mejoran la competencia, depredación y la antibiosis de los microorganismos. Considerando a estos suelos como supresores, debido a la actividad microbiana impide que el patógeno se establezca y/o cause daño al cultivo susceptible (Alabouvette et ál. 1979; Cook 1974; Scher y Baker 1982; Dominguez et ál. 2001; Weller et ál. 2002). Los resultados de la (Figura 41) pueden ser confirmadas con el estudio de Sudarma et ál. (2011), quien sugiere que el índice de diversidad microbiana alta, la baja densidad de población de FOC, y la alta población de microorganismos antagonistas que habitan en el suelo del cultivo de banano sin síntoma de *Fusarium* fueron capaces de suprimir el desarrollo de la enfermedad de la Marchitez por *Fusarium*. Del mismo modo según Stotzky y Martín (1963), Baker y Cook (1974) y Peng et ál. (1999), mencionan como a un componente a la arcilla especialmente montmorillonita, donde su estructura mejora su capacidad de retener agua, la fijación de nutrientes y de los iones de calcio que ajustan el efecto de pH. Sin embargo, puedo concluir en general un crecimiento vigoroso, sano de la planta, donde existe mucha materia orgánica mejorando la microflora del suelo, son las mejores condiciones para producir los componentes de lucha contra Marchitez por *Fusarium*, así como lo demostraron los productores del conglomerado 2.

Por otra parte, algunos suelos contienen naturalmente silicio en poca disponibilidad (Ma y Yamaji 2006). Resultados por Antonio et ál. (2012) muestran que suministrar Si a las plantas de banano, especialmente para cultivares susceptibles a Marchitez por *Fusarium*, tienen un gran potencial en la reducción de la intensidad de Marchitez por *Fusarium*. Según Ma y Yamaji (2006), sugieren que el silicio aumenta la resistencia de la planta a la enfermedad de dos maneras principales: la creación de una barrera física y la resistencia sistémica inducida. Sin embargo, los suelos con bajo contenido de silicio suelen ser altamente degradados, lixiviados, ácidos con baja saturación de bases (Foy 1992). Por esta razón, se debe incluir al silicio dentro del manejo integrado de la Marchitez por *Fusarium* y mejor aun cuando se maneja en un sistema de producción de banano que proteja el complejo coloidal del suelo, como son los sistemas agroforestales, que tienen esas propiedades en la acumulación de biomasa del suelo (Figura 42).

Estudios realizados por Zhong et ál. (2011) mostraron que la presencia de la marchitez por *Fusarium* en los bananos se asocia fuerte a los cambios de las propiedades del suelo, valores bajos de la acidez del suelo (pH) y la composición de la comunidad de los nemátodos, para ello utiliza la estructura de la comunidad de nemátodos como un indicador de la salud de suelo, seleccionando parcelas con y sin la presencia de la Marchitez por *Fusarium*. Confirmando nuestros resultados obtenidos (Cuadro 11 y 15) y visualizado en la (Figura 42), donde en los sistemas de monocultivo la Marchitez por *Fusarium* se presenta con mayor incidencia (pH bajos) y siendo al contrario donde existe mayor acumulación de prácticas donde se mantiene una creciente diversidad en el ecosistema del suelo tanto por encima y debajo, aumentando la dinámica, la autorregulación y la resistencia (Mader et ál. 2002), siendo los sistemas de producción de banano bajo árboles que tienden acumular mayor biomasa al suelo. También es muy importante el análisis de la comunidad microbiana pues es una poderosa herramienta que utilizada junto con las pruebas de análisis de suelo permiten comprender con más profundida de como la marchitez por *Fusarium* tiene sus impactos sobre la salud del ecosistema del suelo (Zhong et ál. 2011), estos estudios se tienen que implementar en la zona para conocer mas en detalle lo que sucede en estos ecosistemas del suelo.

*Cuadro 15. Asociación de las variables sombra, acidez del suelo, conglomerados (indicadores de suelo y sanidad de planta) y manejo contra la Marchitez por Fusarium entre las categorías de incidencia de la Marchitez por Fusarium (Fusarium oxysporum f. sp. cubense), analizados mediante las tablas de contingencias ( $p \leq 0,10$ ).*

Variable	abreviado	chi <sup>2</sup>	Valor p
Porcentaje de sombra	%Som	14,67	0,0230
Acidez del suelo	pH	79,84	0,0001
Introduce material de siembra de otras fincas	In_Mat_Veg	27,21	0,0001
Introduce suelo	In_Su	15,36	0,0015
Desinfecta las botas de los trabajadores y vecinos antes de ingresar a la finca	De_Bo	25,87	0,0001
Organiza a los cosechadores y podadores dentro de la finca	Or_Co_Po	12,08	0,0071
Toma atención al movimiento de suelo mediante los canales de agua	To_Ms_Ca	6,61	0,0853
Evita pasar la gente entre las fincas	Ev_Pa_Ge	9,84	0,0199
Aplica materia orgánica, bioles, biofermentos, lixiviados	Ap_Mo_Bo	21,88	0,0001
Participa en las capacitaciones	Pa_Ca	37,22	0,0001
Esta desinfectando sus herramientas, seleccionando la herramientas una para la planta enferma y sana	De_Herr	11,05	0,0115
Selecciona semilla sana y de buena calidad	Se_Sem_Bc	38,3	0,0001
Suelo bien nutrido y fértil	Su_Nut_Fert	31,82	0,0001
Mantiene distancia de siembra en la finca para asegurar barrera de mata en caso de llegada de la enfermedad, barreras naturales	Dit_Barr	32,17	0,0001
Cirugía de las plantas, disminuye el uso del machete, identifico preventivamente la enfermedad	Ci_Id_Foc	18,25	0,0004
Elimina plantas enfermas y sospechosas	Eli_Pe_Sp	15,76	0,0013
Conglomerado de Indicadores de suelo y sanidad de la planta	Conglomerado	75,80	0,0001

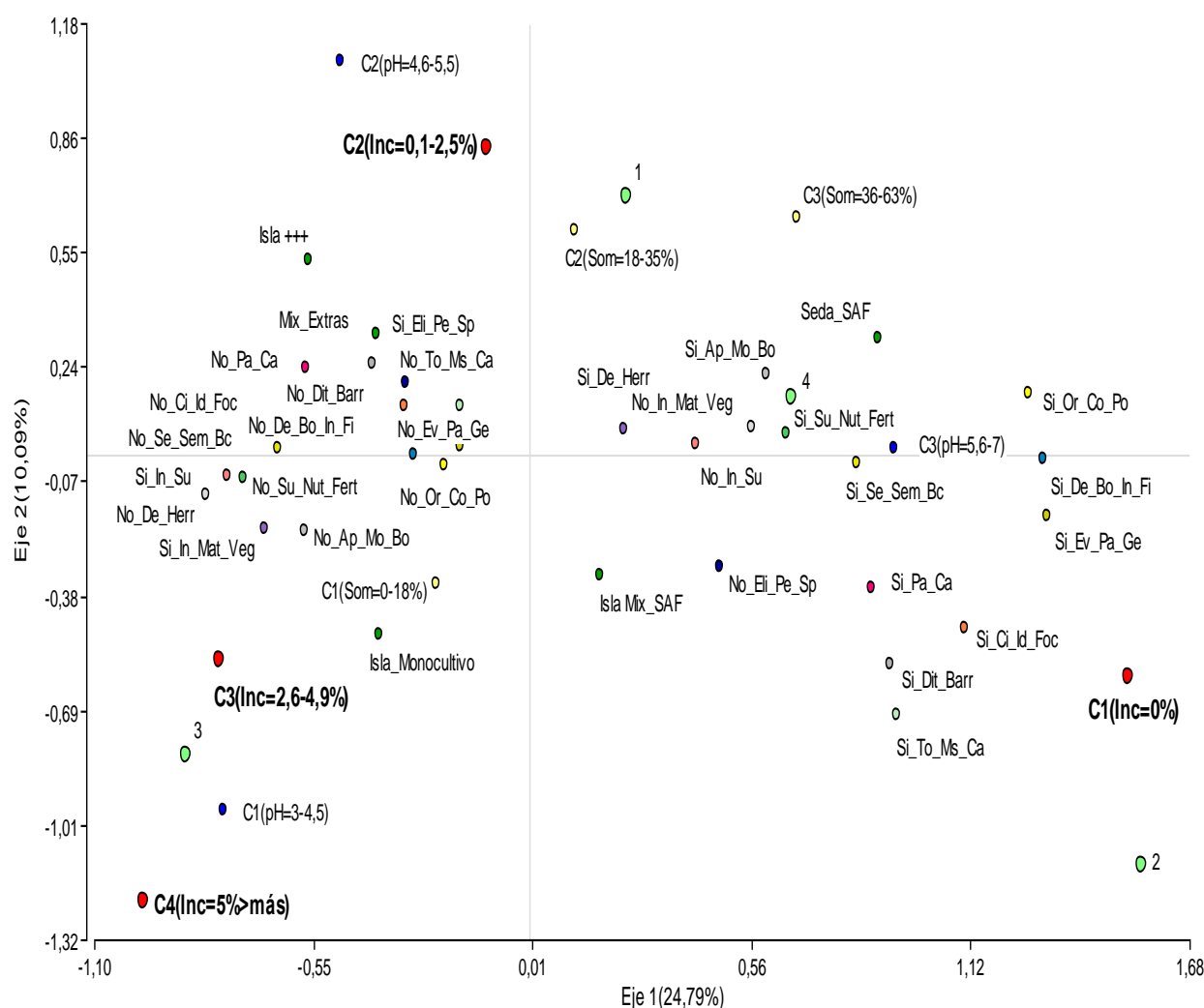


Figura 42. Representación del tetraedro de la enfermedad, mediante el análisis de correspondencia con las variables sombra (Som), Acidez del suelo (pH), Grupo de variedades, conglomerados de indicadores de suelo y sanidad de las plantas, practicas de manejo de la Marchitez por Fusarium donde: Introduce Material Vegetal (In\_Mat\_Veg), Introduce suelo (In\_Su), Desinfecta botas ingresa a su finca (De\_Bo\_In\_Fi), organiza a los cosechadores, podadores (Or\_Co\_Po), toma atención el movimiento del suelo por la corriente de agua (To\_Ms\_Ca), aplica materia orgánica, biofermentos, viores, MM (Ap\_Mo\_Bo), desinfecta herramienta (De\_Herr), selecciona semilla sana y de buena calidad (Se\_Sem\_Bc), abonamiento (Su\_Nut\_Fert), distanciamiento entre plantas entre los linderos, barreras naturales (Dit\_Barr), Evita pasar la gente (Ev\_Pa\_Ge), realiza la cirugía para identificar FOC (Ci\_Id\_Foc), elimina plantas enfermas y sospechosas (Ei\_Pe\_Sp), Participa en capacitaciones (Pa\_Ca).

### **4.3 Diseño de estrategias de manejo integrado de la Marchitez por Fusarium en bananos**

El análisis de los datos colectados en la presente investigación (Objetivos 1 y 2) permitió identificar elementos para diseñar estrategias de manejo integrado de la enfermedad enfocada en dos líneas principales de acción. La primera, y más importante es considerar la epidemiología de la enfermedad, es disminuir la dispersión de la enfermedad tanto en fincas/áreas con presencia de la enfermedad (intra-finca) como de fincas/áreas afectadas para áreas libres. La segunda está direccionada a prácticas de manejo que reduzcan el inóculo secundario del patógeno y aumenten las condiciones que desfavorezcan tanto la infección del patógeno como el progreso de la enfermedad.

Para identificar los elementos que componen esta estrategia inicialmente se realizó una valoración de: a) puntos débiles de los sistemas de producción y b) elementos de manejo presentes en fincas con ausencia de bajos niveles de incidencia de la enfermedad. Seguidamente, se realizó un análisis de las prácticas con mayores posibilidades de ser integradas para el manejo de la enfermedad y su función, considerando las condiciones agroecológicas, sistemas de producción y tipología de los productores de la zona de estudio.

#### ***4.3.1 Puntos débiles de los sistemas de producción que están contribuyendo con el aumento de la enfermedad***

##### **4.3.1.1 Conocimiento sobre la enfermedad**

Fincas de productores con niveles de conocimiento nulos o muy bajos sobre la Marchitez por Fusarium presentaron mayores niveles de la enfermedad cuando fueron comparadas en fincas donde los productores dominaban aspectos básicos de la epidemiología de la enfermedad (Figura 25 y 29).

Productores que no conocen la enfermedad realizan operaciones en la finca como por ejemplo: pisar puntos con plantas enfermas, transportar suelo y tejidos vegetales de áreas afectadas para áreas libres y no desinfectan las botas y otras herramientas agrícolas. Productores que han recibido capacitación sobre la enfermedad aíslan puntos donde está la enfermedad y desinfectan sus herramientas y botas. Estos resultados coinciden con previos

reportes sobre el uso de desinfectantes para el control de la diseminación de la Marchitez por Fusarium (Tanner 1989; Moore et ál. 1999; Nel et ál. 2007).

#### **4.3.1.2 Variedad**

La mayoría de las variedades de banano plantadas en la zona son susceptibles a la enfermedad (Figura 14) y (Figura 26).

Las prácticas considerando el material genético deben ser orientadas para establecer variedades resistentes (Ploetz y Pegg 2000; Viljoen 2002; Ploetz 2010), o implementar prácticas de manejo integrado (Berger 1977; Daniells 2010). La primera opción está siendo estudiada con la introducción de la variedad FHIA17 (AAAA), por ser considerada resistente. Dependiendo del mercado se debe aumentar la siembra de Bizcocho (AA), y diversificar con otras variedades Largo (AAB) y Bellaco (AAB) que sería una opción. Adicionalmente, al existir variación intra-varietal de la variedad Isla (Krauss et ál. 1999) se debe prestar atención a la identificación de variantes con potencial de ser resistentes (Hwag et ál. 2004; Daniells 2010).

#### **4.3.1.3 Topografía del terreno y manejo de suelo**

Parcelas de bananos instalados a favor de la pendiente, mayor arrastre de suelo, escorrentía del agua, degradación de la capa arable, lavado de los nutrientes del suelo y menos prácticas de conservación de suelos, presentaron mayor incidencia de la enfermedad (Figura 16) y (Figura 42)

Los sistemas de monocultivo tienen bajos niveles en la diversidad natural circundante y diversidad vegetal dentro de la parcela, además presentan caminos y trochas dentro de la finca, y menor distanciamiento entre planta, plantadas a favor de la pendiente. En los sistemas BSAF existen mejores arreglos de las plantas encontrándose a distanciamientos mayores y más prácticas de conservación de suelos, como: barreras naturales, cercas vivas y diversificación de variedades (Jarvis et ál, 2011; Linbing Xu et ál. 2011).

**Materia orgánica y nutrición.** Fincas con suelos pobres en materia orgánica, presentaron mayores niveles de incidencia de la enfermedad (Anexo 6), (Cuadro 14), (Cuadro 15) y (Figura 42). Los indicadores de calidad de suelo revelaron que los suelos con baja actividad biológica [bajos valores de residuos vegetales, ausencia de cobertura vegetal, bajos índices de materia orgánica] fueron más afectadas por la enfermedad (Pattison et ál. 2006), en



comparación a aquellas que tenían sus suelos cubiertos con restos vegetales, realizaban aplicación de microorganismos de montaña, lixiviados del raquis del banano, aguas miel y bioles realizados con diferentes materiales orgánicos de la misma zona. Estas actividades con insumos orgánicos son ratificados en muchas investigaciones (Kangire y Ruthenford 2000; Mader et ál. 2002; Weller et ál. 2003, Termorshuizen et ál. 2007, Bonanomi et ál. 2010; Pattison et ál. 2012).

**Acidez de suelo.** Fincas con suelos agrícolas de acidez muy baja presentaron mayor intensidad de la enfermedad, especialmente aquellas con valores de pH de 3,8 a 4,5 (Figura 42). Estas fincas fueron detectadas principalmente (24 Fincas) en sistemas de producción de monocultivo (Cuadro 6)

Suelos agrícolas cercanos al pH 7 o ligeramente ácido (pH: 5.5-6.5), representan mayor cantidad de microorganismos en el suelo (Pattison et ál. 2006), siendo menos favorable para el desarrollo de la enfermedad (Wolf&Jones 1981; Dominguez et ál. 2001), mejorando las propiedades mineralógicas del suelo (Tavares 1986; Peng et ál. 1999) asociadas a la mayor concentración de materia orgánica (Geense 2010; Pattison et ál. 2012) y disponibilidad de  $\text{Ca}^{++}$ , Mg y Zn intercambiable (Álvarez et ál. 1981, Gutiérrez et ál. 1983; Borges et ál. 1983), manteniendo estas características físicas, químicas y biológicas demuestran un buen indicador de calidad de suelo y por ende un buen desarrollo de la planta, estas dos condiciones son más importantes para que la planta sea resistente a la Marchitez por Fusarium (Nash 2007). Por lo tanto, la recomendación de aplicar enmiendas a los suelos ácidos para mejorar su pH (Peng et ál. 1999; Dominguez et ál. 2001), es muy favorable para los microorganismos.

#### **4.3.1.4 Manejo del cultivo**

**Material de siembra.** La introducción de material de siembra (hijuelos) sin ningún control de calidad fitosanitaria, es uno de los principales factores de diseminación de la enfermedad (Figura 39). Además productores que tienen la enfermedad venden sus hijuelos baratos y/o regalan entre los vecinos (Figura 38).

En la zona no existe un laboratorio de cultivo de tejidos para producir material de siembra libre de la enfermedad. Además, no se visualiza que en un corto o mediano plazo los productores de esta región tengan acceso a esta tecnología. De esta manera el proceso de selección de material de siembra basado en el histórico de la cepa y la plantación es fundamental para seleccionar hijuelos con menores probabilidades de estar infectados (Jarvis

et ál. 2011). Ésta selección debe ir complementada con la desinfección del material antes del transporte o plantación. En el sector de Mariscal Castilla de San Luís de Shuaro, se está iniciando la propagación de semillas mediante el uso de cámaras térmicas, pero se desconoce el efecto de esta tecnología sobre la Marchitez por Fusarium.

**Introducción de suelo y restos de material vegetal.** La introducción de suelo desde fincas con presencia de la enfermedad adherido en los hijuelos de banano o en material de siembra de café u otros frutales, restos de plantas enfermas, adherido en el calzado de los trabajadores o comercializadores es un factor determinante en la introducción de la enfermedad en las áreas libres (Figura 29) y (Figura 39) y (Cuadro 14).

Este factor está asociado con el nivel de conocimiento de la enfermedad y a la ausencia de medidas de control legal. Es necesario la implementación de programas de control legal, complementada con capacitaciones discutidas anteriormente para dar a conocer la epidemiología de la enfermedad (Ruthenford y Kangire 2000).

**En las prácticas del deshoje, deshije, desbellote y cosecha del racimo** no toman atención a las plantas enfermas y no desinfectan las herramientas (Figura 29) y (Figura 39).

El uso de herramientas contaminadas ha sido indicado como vía de dispersión de la enfermedad (Rutherford y Kangire 2000). Un detalle preocupante es que para proteger los racimos en la comercialización usan hojas sin discriminar entre plantas enfermas o no. La identificación y aislamiento inmediato de plantas enfermas es clave para disminuir la diseminación de la enfermedad por esta vía (Daly et ál. 2006; Daniells 2010; Ploetz 2010).

**Organiza a los cosechadores y podadores de café y cítricos.** El movimiento de personas que realizan otras actividades no relacionadas al banano contribuye a la diseminación del patógeno tanto dentro de una misma finca como entre fincas (Figura 29) y (Figura 39).

Labores asociadas a otros cultivos de asocio como los cítricos y el café deben considerar también su efecto sobre el cultivo de banano y la Marchitez por Fusarium. Los cosechadores, podadores y personal en general deben estar informados de las prácticas a seguir, que en todo caso depende de la identificación y demarcación de las plantas afectadas y áreas libres de la enfermedad.

**Fertilización.** Fincas mal nutridas y que no realizaban abonamiento orgánico y encalado presentaron mayor incidencia de la enfermedad (Figura 42)

En la zona hacen el uso de la roca fosfórica, como fuente de fósforo y cal, el guano de isla como fuente de nitrógeno y el sulpomag como fuente de potasio, magnesio y azufre. Las

aplicaciones se realizan, al momento de la plantación, a los tres meses y antes de la floración. También antes de la plantación incorporan cal viva al fondo del hoyo, aproximadamente a los 10 días antes de la plantación. Realizadas por las fincas que no se constató la presencia de la enfermedad. El sulfato y azufre proporcionan un indicador fiable para el control de la marchitez por *Fusarium* (Geense 2010) y remineralizan al suelo agrícola (Restrepo y Pinheiro 2009).

**Distanciamiento de plantas entre los colindantes.** Al no existir barreras naturales y/o distanciamientos largos entre plantas accede que el movimiento de las estructuras del hongo sea con mayor facilidad y se desarrolle la infección de la Marchitez por *Fusarium* (Figura 42).

Un mayor distanciamiento entre plantas de los hospederos más susceptibles en la población, reduce la densidad de estructuras del hongo (Wolfey y Fickh 1997), esto se viene manejando en algunas fincas que no se constató la enfermedad en los sistemas de producción de banano (BCT, BCF y BSAF), también se deberían implementar la instalación de barreras vivas o muertas entre las fincas, así mismo dejar hileras sin sembrar para no permitir la llegada de la Marchitez por *Fusarium*. De igual manera, la instalación de variedades resistentes, como Bizcocho, Bellaco y Largo podrían actuar como barreras a la dispersión del patógeno (Jarvis et ál. 2011).

**Presencia de caminos o vías internas en las fincas.** Fincas con frecuencia en flujo de personas presentaron mayor incidencia de la enfermedad (Anexo 6), (Figura 28), (Figura 34) y (Figura 42). El uso de cercas así sean de alambres o “vivas” (uso de especies de plantas crecimiento rápido y árboles entre los linderos) se presenta como una alternativa para disminuir el flujo de personas. El uso de letreros de advertencia y puntos de desinfección en las puertas de entrada a la finca debe complementar esta medida. El reconocimiento temprano y técnicas de intervención han demostrado ser eficaces en la prolongación de la vida útil de las plantaciones (Rutherford y Kangire 2000; Daly et ál. 2006; Daniells 2010).

#### **4.3.1.5 Manejo fitosanitario**

**Erradicación de plantas enfermas.** Fincas donde no se eliminan las plantas enfermas y las dejan hasta que la planta muera, o, cuando la eliminan cortan el pseudotallo y lo dejan tirado en el suelo dentro de la parcela. La incidencia de la enfermedad fue mayor (Cuadro 14). Los tejidos de plantas enfermas son importantes fuentes de inóculo que no solo contaminan el suelo donde están sino que facilitan el movimiento del patógeno a otros lugares a través del

agua, viento, herramientas y el propio hombre (Pegg et ál. 1996). La correcta eliminación de las plantas enfermas, sea por la quema, retirada segura de la finca seguida de su entierro en lugares adecuados es una medida a implementar (Molina et ál. 2009).

#### **4.3.1.6 Sistema de producción**

Sistemas de producción en monocultivo presentaron índices más altos de la enfermedad, cuando son comparados con cultivo en asocio o en sistemas agroforestales (Figura 36), (Figura 37) y (Figura 42).

En los sistemas de monocultivo hay un uso intensivo de productos químicos, menos presencia de cobertura vegetal, materia orgánica (Pattinson et ál. 2006). En los sistemas BSAF, generalmente seleccionan su material vegetal en sus propias fincas, existen mayor presencia de cobertura vegetal, restos vegetales, materia orgánica (Pattison et ál. 2012; Van Asten 2012), aplicando pulpa de café, estiércol de sus propios animales menores (Mader et ál. 2002), aguas miel (Nelson y Boehm 2002), realizando abonamiento orgánico (Geense 2010), mayor diversificación de variedades de banano (Linbing Xu et ál. 2011) y mejor adaptación a la sombra (Perez 2012), así mismo aplican otras prácticas compatibles al medio ambiente como la desinfección con agua hervida a los hijuelos adicionando ceniza y cal.

#### **4.3.2 Prácticas de manejo integrado de la marchitez por *Fusarium***

Para el diseño de prácticas de manejo integrado de la Marchitez por *Fusarium* se consideraron diferentes aspectos de los sistemas de producción; estado fenológico del cultivo y epidemiología de la enfermedad, los cuales se confrontaron con los principios de control de enfermedades de plantas de Whetzel (1929). De este modo se definieron medidas dirigidas a: i) Reducir la dispersión del patógeno de áreas contaminadas a áreas libres; ii) Eliminar o reducir el inóculo primario y iii) Disminuir la tasa de infección y desarrollo de la enfermedad en plantas infectadas (Cuadro 16). Independientemente del sistema de producción, fue posible identificar una serie de medidas que son aplicables y pueden contribuir para el manejo sostenible de la enfermedad (Cuadro 18). Estas medidas, que son altamente dependiente de la presencia de la enfermedad o no, deben ser seguidas de manera estricta por los productores, pero requieren del apoyo de las instituciones presentes en la zona, principalmente aquellas dedicadas a cuestiones fitosanitarias.

*Cuadro 16. Estrategias de manejo integrado de la Marchitez por Fusarium en fincas productoras de banano del Distrito de San Luís de Shuaro, Perú. Abreviatura de los sistemas de producción (Cuadro 5).*

Sistema de Producción	Pre-Siembra	Siembra	Crecimiento y desarrollo (0-6 MESES)	Floración	Cosecha y Post-cosecha
BM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• *Seleccionar el terreno en función del historial sobre si hubo o no plantaciones de banano con anterioridad y si la enfermedad fue detectada. Evitar áreas con histórico de ocurrencia de la enfermedad.</li> <li>• *Preparar el terreno evitando la quema de árboles y/o uso de herbicidas,</li> <li>• *Realizar análisis de suelo y aplicar fertilizantes orgánicos y/o corregir pH según la necesidad del suelo.</li> <li>• Instalar cobertura vegetal de especies adaptadas a la zona</li> <li>• *Seleccionar hijuelos de plantas que no presentaron la enfermedad. El uso de plantas certificadas como libres de Foc es la opción ideal.</li> <li>• *Realizar la limpieza de los hijuelos (remoción de suelos y</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desinfectar los hijuelos con insecticidas y fungicidas, durante 10 minutos, luego dejar por 24 horas antes de instalar a campo.</li> <li>• * Aplicar enmiendas orgánicas en el hoyo en la siembra. 500gr/hoyo.</li> <li>• *Aplicar microorganismos benéficos como hongos antagonistas (<i>Trichoderma</i> sp) en la base del hoyo siempre que estén disponibles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• *Realizar la segunda fertilización favoreciendo el uso de materia orgánica (3 meses después de la siembra) 2 kg/planta por hectárea 2 toneladas.</li> <li>• *Verificar el establecimiento de las coberturas vegetales y resembrar en caso de que sea necesario.</li> <li>• *Controlar las malezas, mediante el macheteo [en caso de que no haya usado cobertura vegetal) evitando el uso de herbicidas.</li> <li>• Realizar el deshije, a los tres meses después de la plantación.</li> <li>• *Picar los hijuelos después sacados del</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• *Realizar la tercera fertilización favoreciendo el uso de materia orgánica (al momento de emisión de la inflorescencia) 2kg/planta por hectárea 2 toneladas.</li> <li>• *Inspeccionar el área y eliminar o aislar las plantas con síntomas de la enfermedad (ver métodos de erradicación).</li> <li>• Aplicación de caldos minerales a</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• *Cortar y distribuir en el suelo los restos vegetales de las plantas cosechadas (pseudotallos, hojas, raquis) que no presentaron la enfermedad.</li> <li>• *Eliminar plantas con síntomas de la enfermedad (ver métodos de erradicación).</li> </ul>

	<p>raíces) en áreas fuera de la finca que se va a establecer, preferiblemente en el lugar donde se adquirieran el material vegetal.</p>		<p>deshije y distribuir en la base de la planta seguidora, adicionar cal</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>*Deshoje a quince centímetros del pseudotallo, tomando en cuenta el peciolo a las hojas viejas, amarillas y débiles, dejando siempre las hojas verdes.</li> </ul>	<p>base de Cal más azufre, cobre, sulfato de zinc, magnesio y boro (Caldo bórdales, visosa y sulfocalcico)</p>	
BCF	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalar el cultivo en contra la pendiente.</li> <li>• Instalar más árboles en una densidad preferencial de 100 plantas/hectárea.</li> <li>• Mantener las barreras naturales como por ejemplo los montes empinados y en la cumbre, cercas vivas, bosque y montes vírgenes que proporcionan conectividad entre paisajes, ecosistemas y hábitat.</li> <li>• Establecer puntos de drenaje para evitar el encharcamiento y</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desinfectar los hijuelos (ya sin y raíces y suelo adheridos) con agua caliente durante 3 minuto cuando el agua este hirviendo a más de 90°C, seguidamente dejar enfriar y cubrir al hijuelo con cal y ceniza.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicar aguas miel, microorganismo de montaña, la cantidad de 1 litro/planta en el cuello de la base de la planta y alrededor del pseudotallo a 5 - 10 cm.</li> <li>• *Aplicar ceniza la más guardada a 200 gr/planta, en la base del pseudotallo.</li> <li>• *Aplicar cal después del deschante (eliminación de las vainas secas que cubren el pseudotallo) la</li> </ul>		Idem a BM

	<p>lavado del suelo.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Seleccionar hijuelos de plantas sanas, preferiblemente, de la misma finca.</li> <li>• Utilizar preferiblemente una distancia entre planta de 8 x 8 metros entre planta.</li> <li>• Instalar variedades resistentes (Largo, Bellaco, Bizcocho) a la Marchitez por Fusarium para que ejerzan como barreras de dispersión del hongo.</li> </ul>		<p>cantidad de 200 gr/planta.</p>		
BCT	<i>Idem a BCF</i>	<i>Idem to BCF</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicar compost a los 3 meses después de la siembra (verificar la posibilidad de elaborar compost con los frutos de cítricos dañados por la mosca de la fruta).</li> <li>• Instalar barreras muertas con las ramas podadas de los árboles, para proteger la erosión del suelo</li> </ul>		Idem a BM
BSAF	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mantener los árboles en el área <ul style="list-style-type: none"> <li>• Preferiblemente una densidad de 100 plantas por</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicar microorganismos de montaña al fondo del</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicar ceniza en la base de la planta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• *Aplicar aguas miel, lixiviados, biofermentos, la cantidad de 1</li> </ul>	Idem a BM

	<p>hectárea</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Evitar la quema de restos vegetales dentro de la finca.</li> <li>• Aplicar cal, ceniza y dolomita al fondo del hoyo antes de la plantación.</li> <li>• Mantener las barrenas naturales circundantes de los montes vírgenes.</li> </ul>	<p>hoyo.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Después de la desinfección de agua hervida sumergir al caldo de microorganismo elaborado por hongos antagonistas por el tiempo de 10 minutos.</li> </ul>		<p>lt/planta</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicación de materia orgánica (estiércol de cuye), la cantidad de 500 gr/planta.</li> </ul>	
--	---	--	--	--	--

\* Medidas aplicables a todos los sistemas de producción según la operación o estado fenológico del cultivo.



*Cuadro 17. Medidas generales aplicables en todos los sistemas de producción dependiendo de la presencia o no de la enfermedad.*

Fases del cultivo	Sin FOC	Con FOC
<b>Pre-siembra</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seleccionar una parcela para establecer y mantener semilleros con plantas libres de la enfermedad;</li> <li>• Desinfectar herramientas (machete, azadones) frecuentemente con lejía (Hipoclorito de sodio) al 0.1%</li> <li>• No introducir suelo de fincas infectadas en el material de siembra de café, cítricos o árboles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En caso que no haya otra opción que instalar la plantación en un campo con presencia de la enfermedad, eliminar todos los residuos vegetales de banano, preferiblemente mediante la quema,</li> <li>• Evitar incluir en el arreglo de siembra áreas donde existieron focos de la enfermedad.</li> <li>• **Proteger las áreas de rescate dentro de la finca, instalar barreras naturales, cercas vivas.</li> </ul>
<b>Siembra</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar letreros de alerta para la desinfección de los zapatos y establecer badenes de desinfección en los puntos de ingreso a la finca para la desinfección de los zapatos.</li> <li>• Diversificar las variedades de banano y plátano dando preferencia a aquellas resistentes a la enfermedad siempre que sea posible</li> <li>• Realizar zanjas entre los vecinos para reducir el movimiento de suelo, tejidos vegetales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ubicar y señalar una sola ruta de entrada a la finca con badenes de desinfección;</li> <li>• Cambiar de variedad en caso de ser posible (rotación de cultivo) y variedades resistentes</li> </ul>

<b>Crecimiento y desarrollo (0-6 meses)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desinfectar herramientas y botas.</li> <li>• Desinfectar las herramientas cada vez que se realiza la limpieza del hijuelos antes de sembrar y en campo definitivo en la práctica del deshoje.</li> <li>• Inspección frecuente de la finca para identificar una posible incursión de la enfermedad.</li> <li>• Inspección conjunta o socialización de informaciones sobre la presencia de la enfermedad con los vecinos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar las plantas enfermas, aislar y marcar puntos donde se presentó la enfermedad y las plantas a su alrededor (5 m<sup>2</sup>).</li> <li>• Eliminar toda la cepa infectada y sus retoños enterrando los restos vegetales en el mismo hoyo, aplicar cal y ceniza para identificar el foco de infección.</li> <li>• No incorporar residuos de plantas enfermas a las composteras y/o otras fuentes de producción de materia orgánica.</li> <li>• No utilizar suelo de la finca para establecer viveros de café, cacao, cítricos u otros cultivos.</li> </ul>
<b>Floración</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desinfectar las herramientas cada vez que se realiza el deshoje.</li> <li>• Organizar e informar a los cosechadores y podadores de café y cítricos sobre los procedimientos de manejo de la enfermedad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desinfectar las herramientas.</li> <li>• Organizar a los cosechadores y podadores de café y cítricos, efectuar las labores primero en los lotes donde no esta presente la enfermedad y después a los lotes con la presencia de la enfermedad.</li> </ul>
<b>Cosecha y Post-cosecha</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Organizar e informar a los cosechadores de banano.</li> <li>• Desinfectar las herramientas cada vez que coseche una planta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No utilizar hojas de las plantas enfermas para proteger los racimos durante el transporte.</li> <li>• No poner a disponibilidad a terceros hijuelos procedentes de plantas afectadas</li> <li>• Desinfectar herramientas cada vez que se coseche una planta independientemente si presenta síntomas de la enfermedad o no.</li> </ul>

### ***4.3.3 Elementos que soportan un análisis de riesgo de la enfermedad en la región***

Los valores de incidencia y distribución de la Marchitez por *Fusarium* en el distrito de San Luís de Shuaro (Figura 36 y 39) mostraron la necesidad de realizar un análisis de riesgo de la plaga en la zona de estudio. Aunque el estudio realizado no objetivó este tipo de análisis, fue realizada una valoración preliminar de algunos factores que podrían soportar un análisis de riesgo de la enfermedad en el futuro considerando tanto la introducción de la misma en áreas libres como su diseminación en áreas donde la enfermedad fue introducida (Cuadro 19).

Es importante hacer énfasis al territorio físico del Perú, donde tradicionalmente se dividen en tres regiones geográficas o regiones naturales diferenciadas, la zona de estudio, el distrito de San Luís de Shuaro esta situado en la región de la Selva o región Amazónica (Figura 6). Y de acuerdo a los pisos ecológicos o ecorregiones naturales se ubica en la Selva Alta conocida como Ceja de Selva, comprende las áreas boscosas y montañosas de la vertiente oriental de los Andes. Su topografía es bastante accidentada, situada sobre los últimos contrafuertes orientales andinos. También se caracteriza por la presencia de cerros escarpados, boscosos y quebradas profundas. Por consiguiente, ahí se producen y se instalan las diferentes variedades de banano y plátano (Figura 14), en diferentes sistemas de producción del cultivo (Figura 15), teniendo en la actualidad áreas en expansión debido a la demanda y oferta de la calidad de banano de las variedades mencionadas (Figura 13) en el mercado local, regional y nacional (MINAG 2012).

Es interesante la aludida región de San Luís de Shuaro, donde permanece hasta la fecha la variedad Gros Michel más conocido con el sinónimo de Seda en el Perú. A pesar de su alta susceptibilidad a la raza 1 de Marchitez por *Fusarium* (Ploetz 2005; Jones 2000). Sabemos que este patógeno provocó una crisis, en la década de 1950 demostrando su impacto potencial biótico en la producción de banano (Ploetz 2005). La enfermedad dió fin con grandes zonas de producción de Gros Michel susceptible a Marchitez por *Fusarium*, causando pérdidas financieras estimadas alrededor de US. \$ 400 millones (Ramirez *et al.* 2011). Por lo tanto, en la zona se mantienen la variedad Seda y otras únicas a nivel de América Latina como el Isla, Palillo (Comunicación personal con el Dr. Miguel Dita). Por lo tanto, en los germoplasma *in situ* de los pequeños productores asentados en el distrito San Luís de Shuaro que vienen aplicando diferentes sistemas de producción siendo uno a considerar los sistemas

*Cuadro 18. Factores de riesgo para la introducción y diseminación de la Marchitez por Fusarium en fincas productoras de banano en el Distrito de San Luís de Shuaro, Perú.*

Factor			Riesgo
Introduce material de siembra o suelo a la finca procedentes de áreas infectadas o de origen desconocidos			Alto
Deja plantas enfermas dentro de la finca, no aísla zonas afectadas			
Existen caminos, trochas dentro de la parcela de banano, con constante flujo de personas			
Elimina las raíces, tierra y tejidos vegetal de hijuelos procedentes de fincas afectadas dentro de la finca a ser establecida			
Elimina plantas enfermas en los canales de riego o quebradas			
Flujo de agua dentro de la finca, arrastra suelo de los vecinos que presentan la enfermedad			Medio
Presencia de la enfermedad en fincas vecinas			
Flujo continuo de agua dentro de la Finca, existen encharcamientos			
Desinfecta las herramientas, botas, usa puntos de desinfección en la finca			Bajo
Aplica medidas para evitar el deslizamiento de suelo			
Usa distanciamiento de plantación más espaciadas entre los cultivos de café, cítricos, cacao con banano en la finca			Bajo
Selección de hijuelos de cepas que nunca presentaron la enfermedad			
Diversifica y rota variedades susceptibles (Isla, Seda) con resistentes (Biscocho, Largo, Bellaco)			Bajo
Identifica, reconoce bien los síntomas de la marchitez por Fusarium			
Utiliza barrera naturales, cercas vivas, mantiene una conectividad biológica			Bajo
Coloca avisos en sus puntos de ingreso, y/o instala badenes con desinfectantes			
Coloca cercos alámbricos dentro de los caminos y/o trochas			Bajo
Realiza la limpieza de campo, deshoje oportunamente, después desinfecta las herramientas y aplica ceniza			
Organiza el movimiento de las personas para la cosecha y poda			Bajo
Identifica y colabora en la detección temprana de la enfermedad			
Elimino plantas enfermas inmediatamente, en el mismo hoyo, aplico cal y ceniza, identifica y aísla plantas colindantes			
Muy alto	Alto	Medio	Bajo

agroforestales, ahí se deben de manejar y mantener estas variedades, también es la base de diversidad genética de resistencia y es un beneficio para el productor porque le permite manejar la presión de la enfermedad en forma más estable (Figura 42).

La variedad Isla, en el Perú se le conoce que pertenece al grupo Pisag Awak (ABB), pero según Krauss *et al.* 1999, se le debe considerar al grupo Ihalona (AAB), se apoya a sus características de la fruta de color rosado y por el alto contenido de almidón. Si fuese así quiero indicar que la variedad Isla es susceptible a la raza 1 de Marchitez por *Fusarium* y no a la raza 2 que se considera actualmente en el Perú. También en la zona de estudio no se observó la variedad Bluggoe (ABB) más conocido en la región como “sapo” susceptible a la raza 2, esta misma variedad fue observada en zonas vecinas, donde las variedades Isla y Bluggoe están siendo cultivados en asociación, evidenciando que la variedad Isla está siendo afectado por la Marchitez por *Fusarium* y el Bluggoe. No se presento los síntomas externos en las parcelas evaluadas, del mismo modo esta variedad Bluggoe no es comercial en la Selva Central (Krauss *et al.* 1999; MINAG 2012).

En los diferentes sistemas de producción de banano (Figura 15), se muestra que en una finca las dos variedades Seda (AAA) e Isla (ABB) presentan los síntomas externos de la Marchitez por *Fusarium*. Según Stover 1962, indica en uno informes originales de las razas de Marchitamiento por *Fusarium*, en América Tropical, que los cultivares susceptibles a la raza 1 eran altamente susceptibles a la raza 2 y que Bluggoe susceptible a la raza 2, fue resistente a la raza 1. Aunque ambas razas fueron detectadas en el mismo grupo VCG (Ploetz y Pegg 1999). Concluyendo que no está claro si los resultados significaban una nueva raza o las condiciones ambientales y edáficas son las responsables (Ploetz y Pegg 1999). Por lo tanto para el Perú, no está claro y se necesita profundizar un mejor entendimiento de la especialización patógena de este hongo, debido a que la variedad Isla pertenece al grupo (ABB) seria solo susceptible a la raza 2 y no de la raza 1 que solo ataca al Seda (AAA).

También la variedad Isla se ha comportado con la presencia de Marchitez por *Fusarium* con diferentes grados de incidencia en los diferentes sistemas de producción de banano. Esto se debe porque la variedad Isla, en término colectivo representa a siete clones diferentes dentro de un grupo (Krauss *et al.* 1999). Es concebible que sus reacciones difieran contra la Marchitez por *Fusarium* (Figura 42). Sin embargo donde se comporta más

susceptible es en los sistemas de monocultivo donde aumenta más el patógeno (Abang et al. 2006; Ploetz 2010).

La instalación del banano y plátano en la región, en una parcela nueva, lo primero que realiza el productor es el tumbando, picacheo y el quemado, seguidamente instalando el hijuelo a favor de la pendiente, no teniendo criterios de conservación de suelos, esto ayuda a la erosión del suelo, el deterioro de las raíces y el arrastre la de materia orgánica. Según, Gauggel et ál. (2003). El deterioro de la raíces del banano se debe a factores climáticos, edáficos y biológicos. Entre los factores climáticos se deben destacar la interacción de la precipitación y la topografía, la cual resulta en condiciones que puedan generar el colapso rápido o paulatino de la raíz. Por otro lado, entre los biológicos se destaca la podredumbre de los cormos (por diferentes causas), nemátodos y la disminución de la actividad biológica en el suelo. Por la pérdida de 10 g de raíz funcional se disminuye la productividad (Serrano, 2003), siendo más propensos a la infección de marchitez por *Fusarium*.

Sin embargo, la obtención de resistencia a la Marchitez por *Fusarium* (Figura 42) ha sido por la salud y las condiciones de crecimiento del cultivo, estas dos condiciones son más importantes en la lucha contra la Marchitez por *Fusarium* (Nahs 2007; Geesen 2010; Pattinso et ál. 2012). En general rápido crecimiento plantas con sistemas de raíces profundas, que crecen en un adecuado entorno climático, bien aireado, suelo fértil y sin demasiado o muy poca humedad suministrados son condiciones menos propensas a que infecte las formas patógenas de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, además que el hongo es de crecimiento lento al momento de infectar a la raíz (Davis 2005), en tanto, las plantaciones en suelos poco profundos, ácidas, tal vez en condiciones calientes o demasiado fríos, plantas atrofiadas por infecciones por nemátodos y/o otros problemas (Figura 18 y 19), son condiciones apropiadas para la infección de la Marchitez por *Fusarium*.

Actualmente, el mejor concepto de epidemiología es representado por un tetraedro (Zadock&Shaein 1979), donde la comprensión de la biología de la Marchitez por *Fusarium*, en el cultivo, en su sistema de producción y del manejo del hombre son factores importantes para determinar el enfoque adecuado para desarrollar un efectivo control (Avelino 2009, Ploetz 2010, Pocasangre 2010). En consecuencia, el productor interfiere en el proceso de la incidencia de Marchitez por *Fusarium* de manera directa o indirecta, creando condiciones favorables o desfavorables para que la misma se desarrolle. Por ello se

tiene que dar énfasis a los resultados obtenidos en la (Figura 40), que nos permite visualizar los puntos débiles de los componentes del agroecosistema. Entendiendo en cada estrategia planteada para marchitez por *Fusarium* que la cantidad de la enfermedad es el resultante de las interacciones que ocurren entre los componentes del tetraedro.

Los resultados obtenidos del diseño del manejo de la Marchitez por *Fusarium* de las 17 prácticas para su control efectivo de la enfermedad propuestos en la investigación y que fueron significativas, se basaron y se orientaron en los principios de (Whetzel 1929, Berger 1977, Anderson 2006), aplicando la evasión, exclusión, y erradicación, para el agente causal, del mismo modo se consideró la protección o el desarrollo de resistencia de las plantas hospederas y el tratamiento de plantas afectadas, coincidiendo con los principio propuestos por (Ploetz 2010, Danniells 2010), dichos principio menciona en relación a la evasión el uso de material vegetativo deben ser libres de la presencia de Marchitez por *Fusarium*, vale mencionar la importancia que tienen las medidas legales para tal fin. Debido a que *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* se disemina en los hijuelos infectados. En el Perú no se cuenta con una legislación orientado para esta finalidad.





## 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

El presente trabajo generó la primera aproximación sobre las características de los sistemas de producción de fincas productoras de banano en el distrito de San Luís de Shuaro y la situación actual de ocurrencia y manejo de la Marchitez por *Fusarium* del banano.

Fueron identificadas ocho variedades de banano [Isla, Seda, Bizcocho, Morado, Manzano, Palillo, Largo y Bellaco], instaladas desde los 700 msnm a 1700 msnm y distribuidas en cuatro sistemas de producción [BM, BCT, BCF y BSAF]. La variedad Isla predominó en primer lugar, seguida por 'Seda'. 'Isla' que está altamente asociada a sistemas de monocultivo y Seda se encuentra mayormente asociada con árboles en SAF. El resto de las variedades se cultivan mezcladas, fundamentalmente, en SAF.

En BM se realizan poca o casi ninguna práctica de conservación del suelo lo cual probablemente influye en los bajos niveles de salud de suelo. Los sistemas BSAF se ejecutan prácticas que promueven la conservación y mayor actividad biológica de los suelos, que contribuyeron para la identificación de niveles más favorables de salud de suelo.

Se identificaron seis plagas y enfermedades como son: Picudo negro (*Cosmopolites sordidus*), Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis*), Gorgojo rayado (*Methamasius hemiptera*), Marchitez por *Fusarium* (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*) y el complejo de nemátodos. Dentro de esos problemas fitosanitarios la Marchitez por *Fusarium* fue identificada como el más importante. La enfermedad continúa diseminándose y pocos productores identifican claramente la enfermedad y la confunden con los síntomas del Picudo negro y Sigatoka negra. Una nueva enfermedad, llamada de Elefantiasis y que fue relatada haber sido causada por *Ustilaginoidella oedipigera* está causando daños considerables a los productores, especialmente en las zonas donde se asocia el banano con café y árboles. Investigaciones sobre la etiología y epidemiología de esta enfermedad son escasas y deben ser obtenidas con carácter urgente para servir de soporte en el manejo de la misma.

En una línea de tiempo se determinó que la Marchitez por *Fusarium* fue percibida como un problema en la región 12 años atrás, principalmente en las variedades Isla y Seda.

Actualmente la enfermedad se encuentra distribuida en varios sectores del distrito y afecta seis variedades de banano Isla (ABB), Seda (AAA), Manzano (AAB), Bizcocho (AA), Morado (ABB) y Palillo (ABB), donde alcanza valores de severidad en las diferentes fincas que van desde 0,15% hasta 19,74 %. Considerando que valores de incidencia mayores a 5% representan alto riesgo para el desarrollo de epidemias de la enfermedad. En la zona, existen en el momento 92 fincas en que poseen su producción sostenible comprometida y además sirven como fuente de inóculo para otras plantaciones. Medidas de contención sobre manejo integrado de la enfermedad deben ser tomadas por las autoridades fitosanitarias de la zona con la mayor urgencia posible. Para la implementación de estas medidas se deberá de tener en cuenta los resultados obtenidos en el presente trabajo, como por ejemplo: la asociación de los valores de acidez del suelo (pH: 3,8 – 4,5), indicadores de calidad de suelo y/o sanidad de la plantación, introducción de material de siembra y suelo sin control fitosanitario de fincas con mayores valores de incidencia de la enfermedad. Estas medidas deben considerar seriamente las características específicas de los sistemas de producción, estado fenológico del cultivo y la epidemiología de la enfermedad. En este trabajo se proponen un grupo de medidas que consideran estos aspectos y que fueron direccionadas a: i) Reducir la dispersión del patógeno de áreas contaminadas a áreas libres; ii) Eliminar o reducir el inóculo primario y iii) Disminuir la tasa de infección y desarrollo de la enfermedad.

Este grupo de medidas de manejo integrado de la enfermedad en la zona, junto a los aspectos sobre análisis de riesgo de la enfermedad discutidos en este trabajo, pueden servir no solo como apoyo para futuros trabajos de diagnóstico en la zona, sino como elementos para apoyar la toma de decisiones que garanticen la producción sostenible de variedades de banano altamente importantes para la seguridad alimentar y generación de ingresos en el Distrito de San Luís de Shuaro, que actualmente son severamente afectadas por la Marchitez por *Fusarium*.

## **5.2 Recomendaciones**

Realizar estudios de biología de la poblaciones de *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* mediante el análisis que grupos de compatibilidad vegetativa (VCG) y marcadores moleculares. Estos estudios deben ser complementados con pruebas de patogenicidad en las

variedades de banano presentes en la zona de investigación para identificar las razas de FOC presentes en el Perú. Durante el presente trabajo fueron colectadas muestras para el establecimiento de la primera colección de FOC del Perú, la cual debe servir de apoyo para la realización de estos estudios.

Verificar mediante muestreos y estudios sistemáticos la asociación de indicadores de salud de suelo con la intensidad de la Marchitez por Fusarium.

Realizar estudios comparativos sobre el perfil de comunidades microbianas en áreas con ausencia o baja incidencia de la enfermedad con aquellas de alta incidencia para la identificación de potenciales grupos microbianos que contribuyen para la supresión de la enfermedad.

Realizar pruebas con la desinfección del agua hervida en diferentes tiempos y/o temperatura con hijuelos asintomáticos para evaluar la eficiencia de este control con las estructuras del hongo de la marchitez por Fusarium.

Evaluar los tipos de enmiendas orgánicas aplicados al fondo del hoyo, a los tres meses y antes de la floración, para verificar con indicadores de calidad de suelo y sanidad de planta la respuesta a la marchitez por Fusarium.

Realizar análisis de suelo de las fincas con presencia y ausencia de la enfermedad para evaluar y confirmar la acidez del suelo y la disponibilidad de los elementos nutritivos.

Realizar ensayos con la lejía y limón, para probar su eficiencia como desinfectante de las herramientas.

Instalar en campo plantas provenientes de la cámara térmica para evaluar su respuesta a la marchitez por Fusarium.

Evaluar la incidencia de la marchitez por Fusarium, en una plantación de banano con aplicaciones de abonamiento a base de Guano de Isla, Roca Fosforica y Sulpomag, desde la plantación hasta el primer corte.

Evaluar la eficiencia de las aguas miel en parcelas con ausencia y presencia de la Marchitez por Fusarium.

Instalar estaciones meteorológicas en las zonas bananeras más representativas para evaluar datos geofísicos más precisos con la incidencia de la enfermedad.

Realizar análisis de riesgo de la Marchitez por Fusarium e implementar estrategias de manejo integrado de la enfermedad en el Distrito de San Luís de Shuaro utilizando los

resultados obtenidos y medias de manejo propuestas en el presente trabajo complementados con capacitaciones y campañas de concientización sobre el riesgo de la enfermedad.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

- Agrios, GN. 2005. Plant Pathology. 5th Edition. Academic Press. New York, USA. 922 p.
- Abang, MM; Baum, M; Ceccarelli, S; Grando, S; Linde, CC; Yahyaoui, A; Zhan J & McDonald BA. 2006. Differential selection on *Rhynchosporium secalis* during parasitic and saprophytic phases in the barley scald disease cycle. Phytopathology, Vol 96, pp.1214-1222
- Akila, R; Rajendran, L; Harish, S; Saveetha, K; Raguchander, T; Samiyappan, R. 2011. Combined application of botanical formulations and biocontrol agents for the management of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc) causing Fusarium wilt in banana. Biological Control 57: 175 -183 p.
- Alabouvette, C.; Rouxel, F., and Louvet, J. 1979. Characteristics of Fusarium wilt suppressive soils and prospects for their utilization in biological control, , In B. Schippers and W. Gams, eds. Soil-Borne Plant Pathogens. Academic Press, New York: 165- 182 p.
- Albertin, A; Nair, PK. 2004. Farmers` Perspectives on the role of shade Trees in Coffee Productions Systems: An assessment from the Nicoya Península, Costa Rica. Human Ecology 32(4): 443-463.
- Altieri, M. 1999. Agroecología. Bases científicas para la agricultura sustentable. Montevideo. Uruguay. 319 p.
- Altieri, M; Nicholls CI. 2002. Sistema agroecológico rápido de evaluación de calidad de suelo y salud de cultivos en el agroecosistema de café. Universidad de California, Berkeley (en línea) consultado el 30 de setiembre 2012 disponible en:  
<http://www.agroeco.org/doc/SistAgroEvalSuelo2.htm>
- Alvarez, CE; García, V; Robles, J; Díaz, A. 1981. Influence des caractéristiques du sol sur l'incidence de la maladie de Panamá. Fruits 36 (2): 71-81 p.
- Alvarez, J.M; Rosales F.E. 2008. Guía para la identificación de bananos y plátanos híbridos de la FHIA (F.E. Rosales ed.). Bioversity International, Montpellier, Francia: 15 p.
- Amorim EP; Dos Santos-Serejo JA; Ferreira FC; Silva SO. 2011. Banana Genetic Breeding at Embrapa Cassava and Fruits. Promusa symposium. Bananas and plantain: Toward sustainable global production and improved uses. 10-14 October 2011. Salvador, Bahia. Brazil 96 p.

- Antonio, FA; Rodrigues, FA; Parpaiola, BJC; Barboza, SGC; Dita, RMA; Liparini, PO. 2012. Silicon Suppresses Fusarium Wilt Development in Banana Plants. Journal of Phytopathology. Doi: 10.1111/jph.12005
- Araujo, D; Rodriguez, D; Sanabria, ME. 2008. Respuesta del hongo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, causante del Marchitez por Fusarium a algunos extractos vegetales y fungicidas. Fitopatología. Maracaibo. Venezuela. 21: 2- 8 p.
- Arneson, PA. 2006. Epidemiología de las enfermedades de las plantas. Los Aspectos Temporales. (en línea) consultado 05 de Noviembre del 2012. Disponible en: <http://www.apsnet.org/edcenter/advanced/topics/Epidemiología/Pages/ModelosProgreso.aspx>
- Avelino, J; Bouvret, ME.; Salazar, L.; Cilas, C. 2009. Relationships between agro-ecological factors and population densities of *Meloidogyne exigua* and *Pratylenchus coffeae* sensu lato in coffee roots, in Costa Rica. Applied Soil Ecology 43:95-105 p
- Baker, KF; Cook, RJ. 1974. Biological Control of Plant Pathogens Freeman, San Francisco. 433 p.
- Balzarini, MG; Gonzalez, L; Tablada, M; Casanoves F; Di, Rienzo JA; Robledo W. 2008. Manual del usuario, Editorial Brujar. Córdoba. Argentina. 331 p.
- Battle, AV; Pérez, LV. 2009 Variabilidad genética de las poblaciones de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* en bananos y plátanos de Cuba Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal. Fitosanidad Ecología Ciudad de La Habana. Cuba (en línea) consultado el 01 de Octubre del 2011 disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1562-30092009000300004](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1562-30092009000300004)
- Barrance, AJ; Flores, L; Padilla, E; Gordon, JE; Schreckenberg, K. 2003. Trees and farming in the dry zone of southern Honduras I: campesino tree husbandry practices. Agroforestry Systems 59: 97-106.
- Bentley, S; Pegg, KG; Moore, NY; Davis, RD; Buddenhagen, IW. 1998. Genetic Variation Among Vegetative Compatibility Groups of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Analyzed by DNA Fingerprinting. Cooperative Research Centre for Tropical Plant Pathology, Ecology and population biology. Queensland. Australia. Vol. 88, No. 12, 1283-1293 p.

- Berg, G; Smalla, K. 2009. Plant species and soil type cooperatively shape the structure and function of microbial communities in the rhizosphere. Federation of European Microbiological Societies Published by Blackwell Publishing Ltd. All rights reserved. Microbiol Ecol 68: 1-13 p
- Berger, 1977. Application of epidemiological principles to achieve plant disease control. Annual Reviews. Phytopathology. 15: 165-183
- Brake, V; Pegg, KG; Irwin JAG; Chaseling. 1995. The influence of temperature, inoculum level and race of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* on the disease reactions of banana cv. Cavendish. Australian Journal of Agricultura Research 46: 673-685
- Borges, A; Trujillo, J; Gutierrez, J; Angulo, D. 1983. Estudio sobre el mal de Panamá en las Islas Canarias.II. Influencia de los desequilibrios nutritivos P-Zn y K-Mg del suelo en la alteración de los mecanismos de resistencia de la platanera Cavendish enana al mal de Panamá. Fruits 38(11):755-758.
- Bonanomi, G; Antignani, V; Capodilupo, M; Scala, F. 2010. Identifying the characteristics of organic soil amendments that suppress soilborne plant diseases. Soil Biology and Biochemistry 42: 136-144
- Buddenhagen, IW. 1990. Banana breeding and Fusarium wilt. In Ploetz, R. ed. Fusarium wilt of banana. APS Press, Amer. Phytopathology. Soc. St. Paul. MN USA. 107-113p.
- Castellón, NA. 2010. Análisis de los mercados de bananos producidos en cafetales por pequeños productores de Honduras utilizando el enfoque de cadena. Tesis M. Sc. CATIE. Turrialba Costa Rica. 111 p.
- Cook, RJ; Papendick, RI. 1972. Influence of water potencial of soils and plants on root disease. Annual Review of Phytopathology 10:349-374 p.
- Cook, JR; Baker, KF. 1983. The nature and practice of biological control of plant pathogens. American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, USA
- Daly, A; Walduck, G. 2006. Fusarium Wilt of Banana (Panama Disease) (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*) Agnote N° 151 (en línea).. Consultado 15 de junio 2011. Disponible en: [http://www.nt.gov.au/d/Content/File/p/Plant\\_Pest/786.pdf](http://www.nt.gov.au/d/Content/File/p/Plant_Pest/786.pdf)
- Daniells, 2010. Fusarium Wilt of Banana – An Integrated Approach to disease Management. Global Science Books. Tree and Forestry Science and Biotechnology 4 (Special Issue 1). 6 p.
- Davis, R. 2005. Fusarium Wilt (Panama disease) of banana. Plant Protection Service Secretariat of the Pacific Community. Pest Advisory Leaflet n°. 42. 4 p.

- Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Balzarini, MG; Gonzales, L; Tablada, M; Robledo CW. 2012. InfoStat, versión 2012, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Dita, M; Molina, A; Karamura E. 2011. Recomendaciones para prevenir la entrada de enfermedades cuarentenarias de alta importancia económica para banano y piña. (en línea) consultado el 04 de Octubre del 2012, disponible en:  
[www.eiag.edu.ni/RECOMENDACIONES\\_para\\_viajeros\\_0906201](http://www.eiag.edu.ni/RECOMENDACIONES_para_viajeros_0906201)
- Dita, MA; Waalwijk, C; Buddenhagen IW; Souza MT; Paiva L; Kema GH. 2010. Un diagnóstico molecular para raza tropical 4 del fusarium banana wilt patógeno. Plant Pathology. Volumen 59.Nro 2: 348-357 p.
- Domínguez, J.;Negrín M. A.;Rodrigues C.M., 2001. Agregado al agua de estabilidad, tamaño de partícula y propiedades del suelo en suelos de soluciones que conduzcan a la supresión y marchitamiento por Fusarium del banano de las islas Canarias (España). Soil Biology and Biochemistry 33:449-455.
- EMBRAPA. 1987. Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura Tropical. Relatório técnico do Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura – 1986. Cruz das Almas, Brasil
- Erb, M; Lenk, C; Degenhardt, J; Turlings, TCJ. 2009. The underestimated role of roots in defense against leaf attackers. Trends in Plant Science 14: 653-659.
- FAOSTAT, 2011. Organización de la Agricultura y la alimentación de las Naciones Unidas. FAO (en línea), consultado el 03 de octubre del 2012 y disponible en:  
<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT) 2009. Bananas. Organización de la Agricultura y la alimentación de las Naciones Unidas. (en línea), consultado el 30 de Octubre del 2011 y disponible en:  
<http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?PageID=666&lang=es>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT) 2006. Informe sobre la producción y demanda de rubros agrícolas (en línea). Consultado el 12 de Agosto del 2011. Disponible en [http://www.fao.org/index\\_es.htm](http://www.fao.org/index_es.htm)



- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT) 1998. The State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture. Rome: FAO.
- Fourie, G; Steenkamp, ET; Ploetz RC; Gordon TR; Viljoen A. 2011. Current status of the taxonomic position of *Fusarium oxysporum* formae specialis *cubense* within the *Fusarium oxysporum* complex. *Infection, Genetics and Evolution* 11 (2011) 533-542
- Foy, CD. 1992. Soil chemical factors limiting plant root growth. *Advances in Soil Science* 19:97-149.
- Garcés, E; Orozco, M; Rocío, GB; Valencia, H. 2001. *Fusarium oxysporum* el hongo que nos falta conocer. *Acta de Biológica Colombiana*. Departamento de biología, facultad de ciencias, universidad nacional de Colombia. (en línea) consultado el 01 de Octubre del 2011, disponible en: <http://www.virtual.unal.edu.co/revistas/actabiol/PDF's/V6N1/Art1V6N1.pdf>
- Geense, P. 2010. Soil health in organic and conventional banana production and its effect on *Fusarium* wilt of bananas. A thesis Msc Organic agriculture at the Biological Farmig. Wageningen University. Droevendaalsesteeg. Wageningen. Netherlands. 66 p.
- Gustavo, M.; Hernandez, J.; Tremont, O.; Pargas, R. 2004. El avance de la sigatoka negra en Venezuela: un breve análisis. *INIA PERU.Boletín -2*, 31-35 p.
- Gutierrez, JF; Trujillo, J; Borges, AP. 1983. Estudio sobre el mal de panamá en las Islas Canarias. I. Características físicas y químicas de los suelos y su relación con la aparición de la enfermedad. *Fruits* 38(10): 677-682.
- Haarer, AE. 1965. Producción moderna de bananas. Ed. Acribia. Zaragoza. ES. 177p.
- Honfo, F; HelK, L; Coulibaly O; Tenkouano, A. 2007. Valor de los micronutrientes y contribución de los alimentos derivados del plátano al consumo diario de hierro, zinc y  $\beta$ -caroteno en el sur de Nigeria. *Red Internacional para el Mejoramiento del Banano y el Plátano*. INFOMUSA Montpellier. Francia. Vol. 16, No. 1 & 2.
- Horry, J.P. 1989. Chimiotaxonomie et organisation genetique dans le genre *Musa*. *Fruits*. Francia. 10 (44): 509-520.
- Hossain, MM; Rashid, MH. 1999. Status of fusarium wilt of banana in Bangladesh. In: *Banana fusarium wilt management, towards sustainable cultivation* (Genting Highlands Resort, Malaysia). 303 p.

- Hwang, Sc; Ko, WH. 2004. Cavendish banana cultivars resistant to fusarium wilt acquired through somaclonal variation in Taiwan. *Plant disease* 88(6): 15-23.
- INEI, 2011. Instituto nacional de estadística e informática. Sistema de difusión de los censos 2007. Región de Junin. PE. (en línea) consultado el 15 de Agosto del 2011. Disponible en: <http://www.inei.gob.pe/>
- INIA, 2011. Plátano y Banano. Resumen ejecutivo. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (en línea) consultado el 02 de Junio del 2011. Disponible en <http://www.inia.gob.pe/platano/resumen.htm>
- Jamaluddin, SH; Nik Madesk, NH; Ibrahim, O. 1999. Preliminary survey of banana fusarium wilt disease in Malaysia, implications on production and the industry. In: *Banana fusarium wilt management, towards sustainable cultivation (Genting Highlands Resort, Malaysia)*. 303 p
- Jarvis, DI; Brown, HD; Imbruce, JV; Ochoa, J; Sadiki, M; Karamura, E; Trutmann, P; Finckh, MR. 2011. Manejo de las enfermedades de los agroecosistemas tradicionales. Ed. Jarvis, DI; Padoch, C; Cooper, HD. *El Manejo de la Biodiversidad en los Sistemas Agrícolas*. Bioversity International. Capítulo 11: 308 – 337 p.
- Jones, DR. 2000. Diseases of banana, Abacá and Enset. CABI Publishing is a division of CAB International. New York. USA. 523 p.
- Kangire, A.; Rutherford, MA. 2000. Las perspectivas para la gestión del marchitamiento por Fusarium del banano (Mal de Panama) en Africa. 177- 186 p
- Karlen, D.L., Ditzler, C.A., Andrews, S.S., 2003. Soil quality: why and how? *Geoderma* 114, 145–156.
- Keep, RP. 1927. The Banana. Its History, Cultivation and Place among Staple Foods. The Riberside press Cambridge. Boston and New York. 173 p.
- Kistler, HC. 1997. Genetic diversity in the plant- pathogenic fungus *Fusarium oxysporum*. *Phytopathology*. 87: 474-479.
- Kinkel, LL; Bakker, MG; Schlatter, DC. 2011. A Coevolutionary Framework for Managing Disease – Suppressive Soils. *Annual Review of Phytopathology*. 49: 47 -67p
- Koenig, RL; Ploetz, RC; Kistler, HC. 1997. *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* consists of a small number of divergent and globally distributed clonal lineages. *Phytopathology* 87: 915- 923.

- Krauss, U; Figueroa, R; Johanson, A; Arévalo, E; Anguiz, R; Cabezas, O; García, L. 1999. Clones de *Musa* en Perú: clasificación, usos, potencial de producción y limitaciones. Infomusa 8(2):16-20p. (en línea) consultado el 03 de Octubre del 2011. Disponible en: [http://www.musalit.org/pdf/info08.2\\_es.pdf](http://www.musalit.org/pdf/info08.2_es.pdf).
- Kung'u, JN; Rutherford, MA; Jeffries, P. 2001. Distribución del marchitamiento por *Fusarium* del banano en Kenia y su impacto sobre los pequeños agricultores. INIBAP. Infomusa (10) 1: 28-32.
- Lemon, PE., 1957. A New Instrument for Measuring Forest Overstory Density. Journal of Forestry, Vol. 55 (9): 667-668 p.
- Leslie, JF; Summerell, BA. 2006. The *Fusarium* Laboratory Manual. 1st. Edición. Blackwell publishing. Siney. 388 p.
- Li, MH; Yang, B; Eslora, Y; Chao, CP; Liu, JM; Él, ZF; Jiang, ZD; Zhong, S. 2011. Caracterización molecular de *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* raza 1 y 4 aislados de Taiwán y China Southern. Canadian Journal of Plant Pathology 2011. Vol 33(2): 168-178 p
- Lichtemberg, PS; Pocasangre, LE; Sikora, RA; Staver, C. 2010. Current status of *Fusarium* Wilt (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*) in bananas Gros Michel (AAA) at smallholder level of Costa Rica. XIX Reunión Internacional ACORBAT 2010. Medellín. COL. 32-44p.
- Linbing, Xu; Huang, B; Wu, Y; Huang, Y; Dong, T. 2011. The Cost – Benefit Analysis for Bananas Diversity Productions in China Foc. Zones. American Journal of Plant Sciences. AJPS. 8 p.
- Loeillet, D; Imbert, C; Fouré, E; Lapeyre L; Lescot, T. 2011. Banana. Review of banana supply to the European market. Cirad. FruiTrop 189: 17 -58 p.
- Ma, JF; Yamaji, N. 2006. Silicon uptake and accumulation in higher plants. Trends in Plant Science 11:392-397.
- Mace, ME. 1962. Histochemistry of phenols in healthy and *Fusarium* invaded (Gros Michel) banana roots. Phytopathology 52: 19 p.
- Madden, L.; Hughes, G.; Van den Bosch, F., 2007. The Study of Plant Disease Epidemics. The American Phytopathological Society. Minnesota USA. 411 p Malburg, JL; Lichtemberg LA; Dos Anjos, JT; Uberti AA. 1984. Levantamento do estado nutricional dos bananais catarinenses. Pp. 256-275 in Anais do 7º Congresso

- Brasileiro de Fruticultura. Sociedade Brasileira de Fruticultura, Florianópolis, Brasil.
- Mader, P; FlieÀbach, A; Dubois, D; Gunst, L; Fried, P; Niggli, U. 2002, Soil fertility and biodiversity in organic farming. Science, 2002, Vol. 296, pp. 1694-197
- Mar, C.; Mohamed, AA.; Liew, KW.; Ho YM., 2004. Early screening technique for Fusarium wilt resistance in banana micropropagated plants. In: SM Jain and R Swennen (eds) Banana Improvement. Cellular, Molecular Biology and Induced Mutations, Science Publishers Inc., Enfield, NH Plymouth, UK. 400p
- Marín, JP. 1996. Principios generales de epidemiología y control de las micosis. Patología Vegetal Tomo II. Micología. Capitulo 22 (Llácer G.,López M, Trapero A.,Bello A. edit). Sociedad Española de Fitopatologia. España. 701-771p.
- Marquez, MM. 2004. Detección del Mal de Panamá (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*), en la variedad de banano Gros Michel. Estudio exploratorio en el suroeste Antioqueño. Agricultura hacia el futuro. Medellin. COL. 8-11 p.
- McKinney,H.H. 1923. Influence of soil temperature and moisture on infection of wheat seedlings of Heminthosporium sativum. J. Agric. Res. 26:195 – 218 p
- Mendes, R; Kruijt, M; Bruijn, I; Dekkers, E; Voort, E; Schneider, J; Piceno Y; DeSantis, T; Andersen, G; Bakker, P; Raaijmakers, J. 2011. Deciphering the Rhizosphere Microbiome for disease – Suppressive Bacteria. Scienceexpress 12039808, [www.scienceexpress.org](http://www.scienceexpress.org).
- Merchán, VM. 2002. Manejo Integrado de plagas del plátano y banano. In: Acorbat. Memorias XV reunión. Asociación de Bananeros de Colombia AUGURA. Medellín COL. 354 - 361p.
- Mills, AJ; Fey, MV. 2003. Declining soil quality in South Africa: effects of land use on soil organic matter and surface crusting. S. Afr. J. Sci. 99, 429-436.
- MINAG, 2011. Ministerio de Agricultura Sistema de información agricola (SISAGRI) (en linea) consultado el 30 de Octubre del 2011, disponible en: [http://sisagri.minag.gob.pe:8080/sisagri/portal/agr\\_p1110.jsf](http://sisagri.minag.gob.pe:8080/sisagri/portal/agr_p1110.jsf)
- MINAG, 2012. Ministerio de Agricultura. Boletín diario de Abastecimiento y Precios Mayoristas. Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos (OEEE). SISAP.Lima Perú: 1-3 p.

- Misti, 2012. Sulpomag. Hoja de datos de seguridad de materiales. (en línea), consultado el 02 de Noviembre 2012. Disponible en: [http://www.misti.com.pe/download/sistema/web18\\_161.pdf](http://www.misti.com.pe/download/sistema/web18_161.pdf)
- Molina, A. 2009. Estado de la incidencia en Asia del marchitamiento por raza tropical 4 de *Fusarium* en el cultivo de banano. In Reunión de grupo de interés sobre los riesgos de la raza tropical 4 de *Fusarium*, BBTV y otras plagas de musáceas para la región del OIRSA, América Latina y el Caribe (Resúmenes de la reunión). Del 29 al 31 de julio. San Salvador, El Salvador. 7-12 p.
- Moore, NY; Bentley, S; Pegg, KG; Jones, DR. 1995. *Fusarium* wilt of banana. INIBAP. *Musa* diseases Nro 5: 1-4 p.
- Moore, NY; Pegg, KG; Smith, LJ; Langdon, PW; Bentley, S; Smith, MK. 1999. *Fusarium* Wilt of Banana in Australia. In. Banana *fusarium* wilt management, towards sustainable cultivation (Genting Hihglands Resort, Malaysia) 303 p.
- Mora, ML. 2006. Mejoramiento genético tradicional y empleo de técnicas biotecnológicas en la búsqueda de resistencia frente a los principales patógenos fúngicos de *Musa* spp. Instituto de Biotecnología de las Plantas (IBP), Biotecnología Vegetal. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Santa Clara, Villa Clara, Cuba. Vol. 6, No. 3: 131 – 147
- MPCH, 2011. Municipalidad Provincial de Chanchamayo. Información Agraria. Chanchamayo. PE. (en línea) consultado el 15 de Agosto del 2011. Disponible en: <http://www.munichanchamayo.gob.pe/index.php>
- Nash, SS. 2007. An Overview of Ecological and Habitat Aspects in the Genus *Fusarium* with Special Emphasis on the Soil – Borne Pathogenic Forms. USA. Plant Pathology Bulletin 16:97-120
- Nela, B; Steinberg, C; Labuschagne, N; Viljoena, A. 2007. Evaluation of fungicides and sterilants for potential application in the management of *Fusarium* wilt of banana. Crop Protection 26: 697-705 p.
- Nelson, PE. 1981. Life cycle and epidemiology of *Fusarium oxysporum*. In Mace, ME; Bell, AA. Beckman, CH. eds. Fungal wilt disease of plants. Academic Press, New York. United States. 51-80 p.

- Nelson, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones y A. Jarvis, 2005. Muy alta resolución interpolados superficies de clima para zonas de tierra global. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978, disponible en: <http://www.worldclim.org/>
- Nelson, PE. 1991. History of *Fusarium* systematics. *Phytopathology* 81: 1045-1048 p.
- Nelson, PE; Dignani, MC; Anaissie, EJ. 1994. Taxonomy, Biology, and Clinical Aspects of *Fusarium* Species. *Clinical Microbiology. American Society for Microbiology.* (7): 479-504 p
- Nelson, EB; Boehm, MJ. 2002. Compost induced suppression of turf grass diseases. *Bio Cycle.* 43: 51 – 55 p
- NIMF Nro.2. 2005. Directrices para el Análisis de Riesgo de Plagas. Normas Internacionales para Medidas Fitosanitarias. FAO. Roma. Italia. 12 p.
- O'Donnell, KO; Gueidan, C.; Sink, S.; Johnston, PR.; Crous, PW.; Glenn, A., Riley, R.; Zitomer, NC.; Colyer, P.; Waalwijk, C.; Van der Lee, T.; Moretti, A.; Kang, S.; Kim, HS.; Geiser, DM.; Juba, JH.; Baayen, RP., Cromey, MG.; Bithel, S.; Sutton, DA.; Skovgaard, K.; Ploetz, R.; Kistler, HC.; Elliott, M; Davis, M.; Sarver, BAJ. 2009. Atwo-Locus DNA sequence database for typing plant and human pathogens within the *Fusarium oxysporum* species complex. *Fung. Gen Biol* 46: 936-948
- Pattison, T; Lindsay, S. 2006. Banana root and soil health user's manual. Department of Primary Industries and Fisheries, Queensland, Australia. 63 p.
- Pattison, AB; Moody, PW; Badcock KA; Smith LJ; Armour, JA; Rasiah, V; Cobon, JA; Gulino, LM; Mayer. 2008. Development of key soil health indicators for the Australian banana industry. *Applied Soil Ecology* (40). 155-164 p.
- Pattison, AB; O'Neill, WT; Kukulies, TL; Molina AB. 2012. Use of cover crops to induce suppression to *Fusarium* wilt of bananas.
- Pattison, AB; Badcock, K; Sikora, RA. 2011. Influence of soil organic amendments on suppression of the burrowing nematode, *Radopholus similis*, on the growth of bananas. *Austra. Australasian Plant Pathology* DOI 10.1007/s 13313-011-0055-9.
- Pegg, K.G; Moore, N.Y; Sorenson, S. 1994. Variability in populations of *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* from the Asia/Pacific region. In: Jones, D.R. (Ed.), *The Improvement and Testing of Musa: A Global Partnership. Proceedings of the First Global Conference of the International Musa Testing Program.* FHIA, Honduras, INIBAP, Montpellier, France, pp. 70-82 p. (en línea) consultado el 06 de Octubre

- del 2012, disponible en:  
<http://bananas.bioversityinternational.org/files/files/pdf/publications/improvement94.pdf>
- Pegg, KG; Moore, NY; Bentley, S. 1996. Fusarium wilt of banana in Australia: a review. Australian Journal of Agricultural Research 47:637-650.
- Peng, HX; Sivasithamparam, K; Turner DW. 1999. Chlamydospore germination and Fusarium wilt of banana plantlets in suppressive and conducive soils are affected by physical and chemical factors. Soil Biology and Biochemistry 31: 1363-1374 p.
- Pérez, L; Batlle, A; Chacón, J; Montenegro, V. 2009. Eficacia de *Trichoderma harzianum* A34 en el biocontrol de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, agente causal de la Marchitez por Fusarium o Marchitez por Fusarium de los bananos en Cuba. Fitosanidad 13(4):259-263 p.
- Pérez, V; Batlle, A; Pocasangre, LE. 2010. Biología de Poblaciones de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*: formas especiales, razas y grupos de compatibilidad vegetativa. In Pocasangre, LE; Perez L; Martínez, E; Tapia, A; Guzmán, M; Brown D. eds. Taller de entrenamiento sobre el diagnóstico y caracterización de la Marchitez por Fusarium o Marchitez por Fusarium. 22 al 26 de febrero, Turrialba, CR. 2p.
- Pérez, VL. 2004. Fusarium wilt (Panama disease) of banana: an updating review of the current knowledge on the disease and its causal agent. In Orozco-Santos, M; Orozco-Romero; J; Velázquez-Monreal, J; Medina-Urrutia, V; Hernández, JA. Eds. XVI REUNION INTERNACIONAL ACORBAT 2004 AXACA, MÉXICO. Memoria. 1-16 p.
- Pérez, EV. 2012. Respuesta de nueve cultivares de musáceas en la etapa vegetativa a cuatro niveles de sombra agroforestal. Tesis M. Sc. CATIE. Turrialba Costa Rica. 58 p.
- Perrier, X; Langhe, E; Donohue, M; Lentfer, C; Vrydaghs, L; Bakry, F; Carreel, F; Hippolyte, I; Horry, J; Jenny, C; Lebot, V; Risterucci, A; Tomekpe, K; Doutrelepont, H; Ball, T; Manwaring, J; Maret, P; y Denham, T. 2011. Multidisciplinary perspectives on banana (*Musa* spp.) domestication. Edited by Piperno DR, Smithsonian National Museum of Natural History and Smithsonian Tropical Research Institute, Panama City, Panama, (en línea)  
<http://www.pnas.org/content/early/2011/06/27/1102001108.full.pdf>

- Pinchinat, A.; Figueroa, R.; Ramirez, L. 1986. Seminario Taller sobre producción de plátano en la Selva Peruana. INIPA, IICA. Series de ponencias, resultados y recomendaciones de eventos técnicos Nro. A3/PE-86-001. ISSN-0253-4746. Lima. Perú. 148p
- Ploetz, R. C; Haynes, J. L. y Vásquez, A.1999. Evaluación de bananos en los subtrópicos de Florida con respecto a los mercados potenciales. Infomusa 8(2):15 -18 (en línea) consultado el 03 de Octubre del 2012. Disponible en: [http://www.musalit.org/pdf/info08.2\\_es.pdf](http://www.musalit.org/pdf/info08.2_es.pdf).
- Ploetz, RC. 2005a. La enfermedad de Panamá. Un viejo enemigo asoma su fea cabeza: Parte 1, el inicio de las operaciones de exportación de plátanos. (en línea) consultado el 05 de Octubre del 2012. Disponible en: <http://www.plantmanagementnetwork.org/pub/php/review/2005/panama/>
- Ploetz, RC. 2005b. La enfermedad de Panamá. Un enemigo Antiguo asoma su fea cabeza Parte 2: La Era de Cavendish y más allá. (en línea) consultado el 05 de octubre del 2012. Disponible en: <http://www.apsnet.org/publications/apsnetfeatures/Pages/PanamaDiseasePart2.aspx>
- Ploetz, RC. 2006, Fusarium del banano es causado por varios patógenos Conocida como *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Simposio Fusarium enfermedades inducidas de los cultivos perennes tropicales Volumen 96, Número: (6 ): 653-656 p (en línea) consultado el 28 de Octubre del 2012, disponible en: <http://apsjournals.apsnet.org/doi/abs/10.1094/PHYTO-96-0653>.
- Ploetz, RC. 2006. Fusarium enfermedades inducidas de Cultivos Tropicales, perenne Simposio Fusarium enfermedades inducidas de los cultivos perennes tropicales Volumen 96, Número: 6 Páginas 648 a 652 (en línea) consultado el 30 de setiembre del 2011, disponible en: <http://apsjournals.apsnet.org/doi/abs/10.1094/PHYTO-96-0648>
- Ploetz, RC; Correll, JC. 1988. Vegetative compatibility among races of *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense*. Plant Disease. 72, 325-328. (en línea) consultado el 26 de Agosto del 2011, disponible en: [http://www.apsnet.org/publications/PlantDisease/BackIssues/Documents/1988Articles/PlantDisease72n04\\_325.pdf](http://www.apsnet.org/publications/PlantDisease/BackIssues/Documents/1988Articles/PlantDisease72n04_325.pdf).



- Ploetz, RC; Pegg, KG. 1997. Fusarium wilt of banana and Wallace's line: was the disease originally restricted to the Indo-Malayan region Australasian Plant Pathology 26: 239 – 249 (en línea) consultado el 28 de setiembre del 2011, disponible en: <http://www.springerlink.com/content/j350r258077jr115/>
- Ploetz, RC; Pegg, KG. 2000. Fusarium wilt. In: D.R. Jones (ed). Disease of banana, Abaca and Enset. CABI Publishing. Wallingford. UK. New York. USA. 143-159 p.
- Ploetz, RC. 2007. Diseases of tropical perennial crops: Challenging problems in diverse environments. Plant Dis. 91: 644 – 663 p.
- Ploetz, RC. 2010. Panama disease: history, past experience and realistic expectations for managing tropical race 4. XIX Reunión Internacional del 8 al 12 de Noviembre 2010. Acorbat. Memorias. Medellin. Colombia. 21-27 p.
- Pocasangre, LE. 2009. Estado actual y manejo del Marchitez por Fusarium en América Latina y el Caribe. In Reunión de grupo de interés sobre los riesgos de la raza tropical 4 de fusarium, BBTv y otras plagas de Musáceas para la región del OIRSA, América Latina y el Caribe (Resúmenes de la reunión). Del 29 al 31 de julio. San Salvador. El Salvador. 18 p
- Pocasangre, LE; 2008. Estado actual y manejo de Marchitez por Fusarium en América Latina y el Caribe. In XIII Reunión internacional de la Asociación para la cooperación en investigación de bananos en el Caribe y la América Tropical. Acrobat . Del 10 al 14 de nov. Guayaquil. Ecuador. Resúmenes. 31 p.
- Pocasangre, LE; Pérez, L; Martínez, E; Tapia, A; Guzmán, M; Brown, D. 2010. Taller de entrenamiento sobre el diagnóstico y caracterización de la Marchitez por Fusarium o Marchitez por Fusarium. Turrialba. CR. 173 p.
- Procitropicos/IICA 2010. Recursos Fitogenéticos en los Trópicos Suramericanos. Programa Cooperativo de Investigación, Desarrollo e Innovación Agrícola para los Trópicos Suramericanos (PROCITROPICOS).IICA. Brasilia. Brasil. 367 p: 215-273 p.
- Ramírez, J; Del Valle, R; 2010. Sostenibilidad del sistema de producción de bananos Gros Michel en Lourdes, Norte de Santander, Colombia. XIX Reunion Internacional Acrobat. Medellin. Colombia. 233 – 248p.
- Restrepo, RJ; Pinheiro S. 2009. Agricultura Orgánica. Harina de rocas y la salud del suelo al alcance de todos. Colombia. Tercera y Cuarta parte. 111- 179 p.

- Rivas, G. y Rosales, F. (eds.). 2004. Manejo convencional y alternativo de la Sigatoka negra, nemátodos y otras plagas asociadas al cultivo de Musáceas en los trópicos. Actas del Taller “Manejo convencional y alternativo de la Sigatoka negra, nemátodos y otras plagas asociadas al cultivo de Musáceas”, celebrado en Guayaquil, Ecuador. 11-13 de agosto, 2003. INIBAP. Red Internacional para el Mejoramiento del Banano y el Plátano. Montpellier. Francia. 185 p: 130 p.
- Riveros, AS. 2010. Inducción de resistencia en plantas. Interacción: planta-patógeno. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). MUSALAC. San José. CR. 261 p.
- Rodríguez, F; Jiménez, R; Uso de indicadores en el análisis sobre control de plagas y enfermedades: Sostenibilidad de las fincas agropecuarias en la microrregión Platanar-La Vieja. Cuenca río San Carlos, Costa Rica. Tecnología en Marcha. Vol. 20-4 - Octubre - Diciembre 2007 P. 8-23(en línea 30 de setiembre). Disponible en: [http://www.tec.cr/sitios/Vicerrectoria/vie/editorial\\_tecnologica/Revista\\_Tecnologia\\_Marcha/pdf/tecnologia\\_marcha\\_20-4/20-4%208-23.pdf](http://www.tec.cr/sitios/Vicerrectoria/vie/editorial_tecnologica/Revista_Tecnologia_Marcha/pdf/tecnologia_marcha_20-4/20-4%208-23.pdf).
- Rowe, P. 1998. Mejoramiento de banano y plátano resistente a plagas y enfermedades. Producción de banano orgánico y/o ambientalmente amigable. Memorias del taller internacional realizado en la EARTH. Guácimo. CR. 56-61 p.
- Rutherford, MA; Kangire, A. 2000. Las perspectivas para la gestión del marchitamiento de fusarium del banano (Marchitez por Fusarium) en África. 177 – 186 (en línea) consultado el 18 de Setiembre del 2012. Disponible en: <http://translate.google.co.cr/translate?hl=es&langpair=en|es&u=http://www.musalit.org/pdf/IN990038.pdf>
- Sanabria, NA; 2010. Control de enfermedades. Maracay. Venezuela. (en línea) Consultado el 10 de octubre del 2011. Disponible en: [http://www.ucv.ve/fileadmin/user\\_upload/facultad\\_agronomia/Fitopatologia/Control\\_de\\_Enfermedades\\_2010\\_.pdf](http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_agronomia/Fitopatologia/Control_de_Enfermedades_2010_.pdf)
- Sandoval, J. A. 2010. Corporación Bananera Nacional (Corbana). Dirección de Investigaciones. Informe anual 2009. San José. Costa Rica. 321p.
- Saravanan, T; Muthusamy, M; Marimuthu, T. 2003. Development of integrated approach to manage the fusarial wilt of banana crop protection. Elsevier. 22: 1117-1123 p.

- Savary, S.; Madden, LV.; Zadoks, JC.; Klein-Gebbinck H.W. 1995. Use of categorical information and correspondence analysis in plant disease epidemiology. Philippines. USA. Vol 21. 214-238 p.
- Scher, FM; Baker, R. 1982. Effect of *Pseudomonas putida* and a synthetic iron chelator on induction of soil suppressiveness to *Fusarium* wilt pathogens. *Phytopathology* 72: 1567-1573
- Sebasigari, K. y Stover, R.H. 1988. Banana Diseases and Pest in East Africa. Report of a survey made in Noviembre. The International Network for the Improvement of Banana and Plantain. (INIBAP). Montpellier. France. 15 p.
- Shepherd, K. 1954. Seed fertility of Gros Michel bananas in Jamaica. *Journal of horticultural science (Inglaterra)* 29 (1): 1-11p.
- Silagyi, AJ; Pocasangre, LE. 2003. Current estatus of *Fusarium* wilt on Gros Michel in smallholdings in Costa Rica. In 2nd International symposium on fusarium wilt on banana. 22-26 September. Programme and abstracts. Salvador de Bahia, BR. p. 12
- Siles, P; Bustamante, O; Deras, M; Napoleón, O; Aguilar, C; Rojas, J; Castellón, J; Burkhardt, J; Staver, C. 2010. Bananos en cafetales con árboles en América Latina: estrategias preliminares para mejorar su productividad, rentabilidad y sostenibilidad. XIX Reunion Internacional Acrobat. Medellin. COL. 214 – 221p.
- Simmonds, N.W. 1959. Bananas. Logmans, Green and co inc. New York. 462 p: 366-378 p.
- Simmonds, N.W. 1962. The Evolution of the bananas. John Wiley & Son Inc. New York, N.Y. 167p: 1-27 p.
- Simmonds, N.W y Shepherd, K. 1955. The taxonomy and origins of the cultivated bananas. *Journal of the Linnean society of London. Botany (Inglaterra)* 55 (359): 303-312 p.
- Simmonds, N.W. 1973. Los Plátanos. Editorial Blume. Barcelona. España. 539 p
- Snyder, WC y Hansen, HN. 1940. The species concept in *Fusarium*. *Amer. J. Bot.* 27: 64-67 p.
- Soto, B.M. 1985. Bananos: Cultivo y comercialización. 1 ed., Litografía e imprenta Lil. San José, Costa Rica. 648 p.
- Soto, B.M. 1990. Bananos: Cultivo y comercialización. 2 ed., Litografía e Imprenta Lil. San José, Costa Rica. 627 p.

- Speijer, PR; Kajumba, CH; Tushemereirwe, WK. 1999. Diseminación y adaptación de una tecnología para producir material de plantación de banano sano en Uganda. *Infomusa* (8) 2: 11 -13 p
- Stover, RH. 1962. Fusarial wilt (Panama disease) of bananas and other *Musa* species. Commonw. Mycology Instit. Phytopathology. Pap. 4: 117 p.
- Stover R.H. 1972. Banana, plantain and abaca diseases. Commonw. Mycol. Instit., Kew.
- Stover, RH; Simmonds, NW. 1987. Bananas. 3 ed. Scientific and Technical, Harlow, Essex, New York, Longman. 468 p.
- Stover, RH; Waite, BH. 1960. Studies on *Fusarium* Wilt of Banana. V. Pathogenicity and distribution of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* races 1 and 2. Canadian Journal of Botany 38: 51-61 p.
- Stotzky G; Martín RT. 1963. Soil mineralogy in relation to the spread of *Fusarium* wilt of banana in Central America. Plant Soil 18: 317-337 p.
- Su, EJ; Hwang, SC; Ko, WH. 1986. Fusarial wilt of Cavendish bananas in Taiwan. Plant Disease. 70 (9): 814-818
- Sudarma, IM; Suprpta DN. 2011. Diversity of soil microorganisms in banana habitats with and without *Fusarium* wilt symptom. J. ISSAAS (17)1: 147-159 p.
- SUNAT, 2012. Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria. (en línea), consultado el 08 de Octubre del 2012, disponible en <http://www.sunat.gob.pe/>
- Tanner, RS. 1989. Comparative testing and evaluation of hard – surface disinfectants. J. Ind. Microbiology 4: 145-154 p
- Tang CY; Hwang. 1999. Desempeño de los clones de banano frente al reto de Marchitamiento por *Fusarium* en Taiwan. Red Internacional para el Mejoramiento del Banano y Plátano (INIBAP). Montpellier. Francia. Infomusa Vol 8. Nro. 1. 10 – 12 p.
- Tapia, A; Ramírez, C; Calvo, P. 2010. Evaluación de la calidad de fruta de banano de altura que se produce en el cantón de Turrialba, Costa Rica. XIX Reunión Internacional Acrobat. Medellín. Colombia. 249 – 254p.
- Tavares, R. 1986. *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (E. F. Smith) Synder & Hansen and Its dissemination at Uruburetama mountain. Estado do ceará. Brasil. Cien. Agron. Fortaleza. 17 (2): 1-5 p.

- Termorshuizen, AJ; Van Rijn, E; Van Der Gaag, DJ; Alabouvette, C; Chen, Y; Lagerlof, J; Malandrakis, AA; Paplomatas, EJ; Ramert, B; Ryckeboer, J; Steinberg, C; Zmora-Nahum, S. 2007. Suppressiveness of 18 compost against 7 pathosystems: variability in pathogen response. *Soil Biology and Biochemistry*. 38: 2461 – 2477 p.
- Thornton, P; Cramer, L. 2012. Impacts of climate change on the agricultural and aquatic systems and natural resources within the CGIAR mandate. CCAFS. Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security. 13 p.
- Thurston, HD 1989. Enfermedades de Cultivos en el Trópico. Galindo JLL, Traductor. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica. 232 pp
- Tushemereirwe, WK; Ploetz, RC. 1993. First Report of Fusarium Wilt on East African Highland Cultivars of Banana. *Plant Disease* 77 (10): 1063 -1064
- Van Der Plank, J.E. 1963. Plant diseases: epidemic and control. Academic Press. New York. 349 p.
- Van Asten, PJA; Kangire, A; Verhagen, J; Koomen, I. 2012. Towards climate smart agriculture: lesson from a coffee x banana case. Experiences from research for policy support in Uganda.(en línea) consultado el 08 de Noviembre del 2012. Disponible en: <http://ccafs.cgiar.org/blog/uganda-coffee-and-banana-go-better-together>
- Vézina, A. 2008. Importancia del acceso a recursos genéticos de *Musa* en América Latina y el Caribe. Bioversity International (Grupo banano y plátano). Montpellier, Francia Recursos Naturales y Ambiente/no. 53:72-80 p.
- Viljoen, A. 2002. The status of Fusarium wilt (Panama disease) of banana in south Africa. *South African Journal of Science*. Pretoria. ZA. 98: 341- 344 p
- Waite, BH. 1963. Wilt of Heliconia spp. caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* race 3. *Tropical Agriculture*, v. 40, 299-305
- Weller, DC; Raaijmakers JM; Gardener BM; Thomashow, LS; 2002. Microbial populations responsible for specific soil suppressiveness to plant pathogens. *Annual Review of Phytopathology* 40: 309-348 p.
- Whetzel, HH. 1929. The terminology of plant pathology. *Proceedings of International Congress on Plant Science*. Ithaca, New York. Vol. 1926:1204-1215.

- Wolfe, MS; Finckh, MR. 1997. Diversity of host resistance within the crop: Effects on host, pathogen and disease. En H. Hartled, R. Heitefuss y Hoope, HH, eds., Plant Resistance to Fungal Disease. Jena. Alemania. 378 -400 p
- Zadocks J.C.; Schein R.D. 1979. Epidemiology and plant disease management, Oxford University Press, New York, 427 p
- Zhong, S; He, Y; Zeng, H; Mo, Y; Zhou, Z; Zang, X; Jin, Z. 2011. Effects of banana wilt disease on soil nematode community structure and diversity. Afr. J. Biotechnol. 10, 12729-12737.

## **ANEXOS**

## Anexo 1. Formatos de la información para el entrevistado.

### **Información General para el Entrevistado, Introducción y Propósito de la Encuesta:**

A través de esta encuesta deseo buscar informaciones para el entendimiento de los sistemas de producción y del manejo fitosanitario contra la enfermedad del Marchitez por Fusarium, también conocida como Mal de Panamá<sup>3</sup> que viene afectando a las fincas de banano en la región. Las informaciones brindadas por los productores se mantendrán en anonimato para salvaguardar su opinión. Estos resultados regresaran a su conocimiento a través de las instituciones locales de extensión. Actualmente se está ejecutando el proyecto “Mejorando la producción y mercadeo de bananos en cafetales con árboles de pequeños productores: Utilización de los recursos, salud de los suelos, selección de cultivares y estrategias de mercado” en el Perú. Este proyecto lo está implementando la institución Bioversity International con el apoyo de instituciones locales del Perú: Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA) y la Cooperativa de Productores Cafetaleros de San Luís de Shuaro (CACSLs).

Como parte del proyecto, estará el estudiante de maestría del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) Carlos Hugo Román Jerí, realizando sus trabajos de grado en su comunidad. Este estudiante tiene como objetivo: Generar conocimientos sobre la Marchitez por Fusarium (*Fusarium oxysporum* f. sp. cubense), que fundamenten el diseño de estrategias del manejo sostenible de la enfermedad en la región central del Perú.

Carlos Román visitará su finca y la evaluará en dos etapas; a) primera etapa, caracterizará su sistema de producción y del manejo de la enfermedad a través de una encuesta; y b) segunda etapa, realizará un estudio más detallado en la parcela de banano tomando evaluaciones de intensidad de la enfermedad y su distribución en el campo.

Las informaciones colectadas tendrán un análisis para diseñar el manejo integrado de la enfermedad y el mapa de distribución, después serán compartidas con las instituciones locales para conocimiento de los productores.

Agradezco desde ya la oportunidad que se me brinda.

---

<sup>3</sup> El documento se refiere a la enfermedad como Marchitez por Fusarium, no obstante para la comunicación con los productores se ha utilizado Mal de Panamá, pues es un nombre más familiar a los productores



## Anexo 2. Entrevista de caracterización de sistemas de producción

### Antecedentes generales.

La presente entrevista tiene por objetivo realizar el estudio de caracterización de los sistemas de producción de *Musa* spp. (Plátanos y bananos) en el distrito de San Luís de Shuaro.

#### Información socioeconómica

1. Nombres y Apellidos.....  
Edad.....Grado..... de  
instrucción.....  
Nro. de miembros del grupo familiar.....Nro. de hijos.....Hijos > 18  
años.....  
Fecha:.....Lugar.....  
Servicios.....  
N° de punto de GPS: .....Área: .....ha

#### 2. Vías de comunicación:

Bueno	
Malo	
regular	
Malo	
Muy Malo	

#### 3. Capacitación con la que cuenta para el cultivo del banano

Manejo agronómico	
Plagas y enfermedades	
Mercado	
Otros	
No cuenta con capacitaciones	

#### 4. ¿Qué tipo de variedad tienen sembrada en la finca y cuál es el uso le da a cada uno?

Tipo de musa	Autoconsumo	Venta	Consumo animal

#### 5. ¿Existen variedades nuevas que están siendo comercializados en la región?

Si	
No	

Si responde No paso a la pregunta seis.

##### 5.1 ¿Cuáles?


##### 5.2.¿Cuál es el nivel de aceptación mercado local?

	Variedad	Variedad	Variedad
Alto			
Medio			
Bajo			

5.3 ¿Estaría dispuesto a cambiar su variedad por otra?

Si	
No	

¿Porque?.....

5.4 ¿Qué requisitos debería tener además de la resistencia a la enfermedad de Mal de Panamá?

Calidad en fruta	
Buen peso de racimo	
Resistencia a plagas	
Precocidad	
Mayor cantidad de hijuelos	
Menos exigente en fertilizantes	
Otras que usted considere	

6. Su finca de banano y plátano esta:

Asociado	si	no	¿Qué cultivo?
SAF	si	no	¿Qué especies?
Bosques nativos	si	no	
Fuentes de agua	si	no	
Prácticas de conservación de suelo	si	no	Cuales
Mantiene los recursos naturales	si	no	Cuales
Otras	si	no	

7. Tiene otro ingreso en su finca

Ingreso agrícola	
Trabajo fuera de la finca	
Ingreso pecuario	
Remesas familiares	

8. ¿Qué edad tiene el cultivo de musa?

	Variedad
Menor a años	
5-10 años	
10-15 años	
Mayor a 15 años	

9. ¿Cuál es la producción de musa en su finca?

Hectárea	
Año	
Nro. de racimos por mes	
Nro. de racimos al año	

10. Como lo vende los bananos

Racimo	
Mano	
Caja	
Jaba	

11. ¿En qué periodos cosecha el banano?

menor a 8 días	
de 9 a 15 días	
de 16 a 30 días	
otros	

12. Tipo de manejo que tiene la finca

Orgánico	
Convencional	
Otro	

13. Tiempo sin aplicar agroquímicos sintéticos

Semanas	
Mes	
Año	

¿Qué tipo de plaguicida aplica?

14. La finca es certificada

Si	
No	

Certificadora.....

## CONOCIMIENTO DE LA ENFERMEDAD

1.- ¿Qué plagas están presentes en su plantación de musa ? Después mencione: ¿cuál de ellas se presenta primero y cuál es más destructivo?

Plagas	Orden de presencia					Mas destructivo
	1	2	3	4	5	
Gorgojo del plátano						
Nematodos						
Sigatoka negra						
Mal de Panamá						
Gorgojo negro						
Otros						

Marque con un "x" en cada casillero

2.- ¿Desde cuándo tiene conocimiento del Mal de Panamá?

0 – 5 años	
6 – 10 años	
11 – a más años	

2.2. Tengo campos donde he abandonado la siembra de plátanos Seda, Isla, Manzano por problemas de enfermedad?

Si	
No	

2.3. Cuando apareció por primera vez en mis campos el Mal de Panamá?

.....

3.- ¿Cómo reconoce que la planta tiene Mal de Panamá?

Hojas amarillas	
Corte del pseudotallo mostrando los hilos marrones	
Sacado de galleta	
Pseudotallo rajados de la parte superficial	
Otros ...	

### Descripción de los síntomas

4.- ¿Cuáles son los síntomas más comunes que produce Mal de Panamá en una planta de banano muy enferma?

Amarillamiento de las hojas empezando con las hojas más viejas.	
Marchitez de la planta aun cuando el suelo tiene humedad.	
Rajadura del pseudotallo en la base.	
Otros	

5.- ¿Cuáles son los primeros síntomas que se pueden notar en una planta sin florecer?

Hoja candela en estado latente, sin la posibilidad de abrir como hoja verdadera.	
Marchitez de hojas en su totalidad.	
Leve amarillamiento en todas las hojas.	
Hojas viejas dobladas.	

6.- ¿Cuáles son los primeros síntomas que se puede notar en una planta con floración?

Marchitez de hojas generalizada.	
Leve amarillamiento en todas las hojas.	
Racimo sin emerger en su totalidad.	
Racimos totalmente emergidos con dedos raquíuticos de mala calidad sin posibilidad de desarrollar.	

7.- ¿Con qué otros síntomas se puede confundir la presencia de Mal de Panamá en el campo?

Moko		Estrés hídrico	
Erwinia		Deficiencia nutricional	
Picudo		Daño mecánico	
Otros		Otros	

8.- ¿En qué variedades de plátano se puede ver los síntomas comunes del Mal de Panamá en su finca?

Seda		Morado	
Isla		Largo	
Manzano		Bellaco	
Palillo		Bizcocho	

9.-Recibió capacitación sobre el manejo de la enfermedad.

Sí		No	
----	--	----	--

¿Desde cuándo?

Hace 1 año a menos.	
Hace 2 años a 4 años.	
Hace 4 años a más.	

10.- Servicios de Extensión del Gobierno

Reciben capacitación de las instituciones públicas

Si	
No	

¿Qué instituciones?

Ministerio de Agricultura	
SENASA	
INIA	
Municipalidad Distrital	
Municipalidad Provincial	
Gobierno Regional	
Sierra exportadora	
Otras	

¿Con que frecuencia?

Cada semana	
Cada quincenalmente	
Una vez por mes	
Trimestralmente	
Otra	

¿En qué consisten las capacitaciones

Manejo Agronómico del cultivo	
Plagas del cultivo	
Fertilización	
Créditos	
Fortalecimiento organizacional	
Otros	

¿El Mal de Panamá en los bananos es de alguna manera contemplada?

Si	
No	

¿Cuáles son las orientaciones?

Importancia de la enfermedad	
Identificación de la enfermedad en campo (síntomas)	
Formas de diseminación del patógeno	
Manejo de plantas enfermas	
Cuidados con el material de semilla	
Otras	

**Distribución de la enfermedad:**

10. ¿Cómo ve la situación del Mal de Panamá actualmente?

A mejorado	
Sigue igual	
Se está incrementando	
A empeorado	

### Comportamiento de la enfermedad

11. ¿Por qué piensas que la planta está enferma?

Hilos o micelio bloquean el movimiento de agua en la planta	
Se marchita y se pone amarilla	
Amarilla por que no están llegando los nutrientes	
Las raíces están podridas y necróticas	
La tierra esta contaminada	
No sabe	

12. ¿Qué pasa si dejamos la planta con la enfermedad?

Se multiplica el hongo, micelio	
Invaden el pseudotallo principal	
Contagian a los otros pseudotallos e hijuelos	
No sabe	

13.- ¿Qué pasa con la planta enferma después de un tiempo?

Deja esporas en el suelo para infectar a otra planta	
La esporas se quedan por mucho tiempo en el suelo	
Contaminan la plantación y el suelo	
No sabe	

14. ¿Cómo cree que ha llegado la enfermedad a la planta?

### Semilla

Siembra de hijuelos con la enfermedad	
Plantas asintomáticas de plantas madres con la enfermedad	
Hijuelos con el suelo llevando la cepa de enfermedad	

### Resiembra de café y árboles de sombra

Sustrato elaborado de con suelo contaminado	
---	--

### Abono orgánico

Suelos con esporas de Fusarium	
Tallos enfermos de plátanos incorporados a la compostera	

**En agua de escorrentía**

Sedimento de terrenos contaminados por la escorrentía	
Echar tallos enfermos a quebradas	
Sedimento depositado por erosión de terrenos enfermos a terrenos sanos	

**Pedazos secos de tallos Gros Michel**

Plantas enfermas sin tumbar (pájaros, murciélagos usan tiras para nidos)	
Plantas picadas y regadas	
Plantas enferma picada no tapada con otras hojas	

**Cosechadores y podadores de café**

Trasladan con las botas esporas del suelo infestado con Marchitez por Fusarium	
Herramientas contaminadas	

**Otros**

Llantas de vehículos	
Suelos erosionados del vecino	
Bolsas de vivero infectadas	
Ingreso de animales	
Introducción de suelo	
No sabe	

15. ¿Usted sabe cómo se disemina el hongo?

Hijuelos del plátano infectado	
Herramientas	
Viento	
Escorrentía del agua con suelo infectado	
Visitas de los vecinos con botas infectadas	
Materia orgánica con plátano infectados	
No sabe	

16. ¿En qué otros lugares ha notado la presencia de la enfermedad?

Mis vecinos	
Dentro de mi comunidad	
En las comunidades vecinas	
Otros	

**Manejo de la enfermedad**

17. ¿Considera usted importante detectar la enfermedad a tiempo?



Sí		No	
----	--	----	--

¿Por qué?

La enfermedad invade a la raíz y se multiplica en la planta.	
Si cortamos la planta con los primeros síntomas los hongos se multiplican menos.	
Generan menos esporas que quedan en el suelo	
Para que no se propague más	
No sabe	

18.- ¿Cómo se realiza el manejo de la semilla?

**Selecciona semillas de su propia finca**

Hijuelos vigorosos de plantas madres antes del primer corte	
De plantas madres vigorosas y de buen peso del primer corte.	
De plantas madres vigorosas y de buen peso del segundo corte.	
De plantas madres vigorosas y de buen peso del tercer corte.	
Otros...	

**Tipo de semilla de banano prefiere sembrar en su finca**

In vitro	
Hijo espada/cola de burro/lápiz	
Hijo de agua	
Rizoma	
otro	

**Selecciona por peso del cormo**

Menos de 0.5 kg	
Entre 0.6 a 1.5 kg	
Entre 1.6 a 2. 5 kg	
Entre 2.6 a 3.5 kg	
Entre 3.6 a 5.0 kg	

**Compra los hijuelos a terceros**

Sí		No	
----	--	----	--

**De qué lugar:.....**

Selecciona los hijuelos del mismo campo.	
Alguien más selecciona la semilla.	
Solo recibe la semilla sin ninguna selección.	

**Eliminación de raíces y tierra del cormo, pelado del cormo**

Realiza el pelado en el campo donde compro los hijuelos	
En la finca cuando llegan los hijuelos y recién realizo la limpieza del cormo	
En la misma parcela donde realizo la plantación	
Desinfecta la herramienta cada vez que realiza el pelado del cormo	

**Tratamiento de la semilla**

Desinfección química ( usos de productos químicos)	¿Qué productos?	¿Cuántas veces?
Desinfección orgánica (compatibles al medio ambiente)		

Cuanto tiempo hay desde que planta la semilla hasta la cosecha del banano.....

19.- ¿Cómo realiza la plantación?

**Preparación del terreno**

Tumba, picachea hasta esperar que se descomponga.	
Realiza la quema	
Terrenos que estuvieron en descanso de 1 a 3 años	
Terrenos que tienen cobertura de 1 a 3 años	

**Preparación de hoyos**

De 20 cm x 20 cm x 20cm	
De 30 cm x 30 cm x 30cm	
De 40 cm x 40 cm x 40cm	
De 50 cm a más	

**Aplicación de insumos al fondo del hoyo**

Encala con cal	Cantidad
Encala con roca fosfórica	Cantidad
Sulpomag	Cantidad
Dolomita	Cantidad
Otros	Cantidad

**Aplicación de materia orgánica**

Al fondo del hoyo	cantidad	tipo
A los tres meses		
Antes de la floración		
Después de la cosecha		
No aplica		

**Abonamiento**

Realiza análisis de suelo	¿Qué cada tiempo?	
Usa abonos inorgánicos simples	Cantidad	¿Qué producto?
Usa abonos inorgánicos compuestos		
Usa abonos orgánicos	Cantidad	

20. ¿Cómo es el manejo agronómico del cultivo de plátano?

**Distanciamiento entre las plantas**

De 3 x 3	
De 4 x 4	
De 5 x 5	
Otro	

**Sistema de siembra**

Tres bolillo	
Cuadrado	
Rectángulo	
Hexagonal	
Otro	

**Disposición de la planta en la pendiente**

A favor de la pendiente	
En contra de la pendiente	

**Prácticas de conservación del suelo**

Cercas vivas	
Instalación de plantas asociadas	
Cultivos perennes en la finca	
Sombra permanente para el cultivo	
Uso de coberturas	
Presencia de bosque nativo	
Tratamiento de residuos de cosecha	
Barreras rompe vientos	
Terrazas	
Zanjas de infiltración	

### Prácticas culturales

Desahije	Si	No	¿Cuántas veces?	
Deshoje			¿Cuántas veces?	
Descalce			¿Cuántas veces?	
Desbellote			¿Cuántas veces?	
Destronque			¿Cuántas veces?	
Limpieza de campo			¿Cuántas veces?	
Apuntalamiento				
Resiembra				
Análisis de suelo				
otros				

21. ¿Qué practicas realiza si **no tiene la enfermedad** del Mal de Panamá?

No introduce material de siembra fuera de su finca	
No introduce suelo a la finca	
Toma atención a suelo en botas, pies de animales, ruedas de vehículos	
Toma atención con el movimiento de suelo en corrientes de agua.	
Evita pasar la gente entre las fincas	
Delimita borde de finca y con zanjas para reducir movimiento de suelo	
Aplica materia orgánica, controladores biológicos, biofermentos	
Revisa las plantaciones del vecino para identificar plantas enfermas con Mal de Panamá	
Participa en alguna capacitación	
Siempre está desinfectando sus herramientas, seleccionando solo para la sanas y otra para las sospechosas	

22. ¿Qué practicas realiza si tiene la enfermedad?

Limita nuevas introducciones de material vegetal	
Aplica prácticas recomendadas donde no está la enfermedad	
Detecta tempranamente la enfermedad	
Corta tallos sin síntomas de la mata enferma, pica y amontona/agrega cal, ceniza y urea para acelerar descomposición cuesta arriba de la mata enferma.	
Corta tallos con síntomas de la mata enferma, picar en trozos grandes y amontonar encima de corno central que también se puede despedazar/aplicar cal, ceniza, urea y tapar con plástico negro o hojas de bananos.	
Hace zanja pendiente abajo para evitar deslizamiento de suelo y materia orgánica de los montones de resto de bananos.	
Corta plantas vecinas cuesta abajo, picar tallos, amontonar y aplicar cal, ceniza.	
Evita pasar gente del lugar donde está el material en descomposición.	
Desinfectar herramientas, botas con cloro y uso de la cal en los puntos de entrada del campo antes de entrar para realizar otras tareas en el banano.	
Cuarentena campo.	
Asegura que el suelo no se erosiona fuera del campo.	
otros	

Conociendo más en detalle las actividades contra la enfermedad

### 1. Los que no tienen la enfermedad y sus vecinos

Usa material de siembra solamente de la finca	
Asegura una buena distancia entre cafetales con plátanos en la finca y plátano en otras fincas (dejan fila sin sembrar)	
Reduce el flujo de agua de otras fincas a la finca nuestra.	
Está muy vigilante de no introducir suelos de las zonas con Mal de Panamá.	
Mantiene distancia de siembra en la finca de 5x5 para asegurar barreras mata a mata en caso de llegada de la enfermedad	

### ¿Qué manejo preventivo de mayor importancia realiza?

Semilla sana y de buena calidad	
Suelo, bien nutrido y fértil	
Aplica controladores biológicos	

### Criterios de plantas madres superiores para la selección de semilla:

Tamaño de racimo, número de dedos, manos, vigorosidad y sanidad	
No desahijar plantas superiores	
Microcormos (sacrifican uno o dos tallos de matas superiores en decapitación)	
Micropropagación (llevar fotos)	

### 2. Los que no tienen la enfermedad, pero sus vecinos la tienen.

Aumenta la distancia entre cafetales con plátano en la finca y plátano en otras fincas(dejan filas sin sembrar)	
Evitar el flujo de agua de las fincas vecinas a la finca nuestra	
Minimiza movimiento de personas de fincas vecinas a finca nuestra	
Colabora en la detección temprana de plantas enfermas y la erradicación de matas enfermas ( con mucha precaución para asegurar que uno no regresa con la enfermedad a su propia finca	
Cumple las recomendaciones: Usar herramientas de finca vecina y desinfecta, separa un par de zapatos solamente para usar dentro de la finca, cambia ropa después de trabajo en la finca vecina)	
Participa activamente en la capacitación	

3. **Los que tienen la enfermedad < 1% de la mata.** ¿Cuáles son los principales puntos a priorizar?

Práctica lo antes mencionado arriba, la prioridad está en erradicación de matas enfermas	
Decide que parte de la finca tiene más posibilidad de proteger-¿cuáles son los criterios a usar? (terrenos más distantes de matas enfermas, terrenos pendiente arriba de matas enfermas, terrenos con barreras naturales, terrenos sin mucha circulación de personas.	
Detección temprana	
Barreras a distancia sin Gros Michel entre parte de terreno con matas enfermas y los terrenos a proteger.	
Erradicación de matas enfermas con medidas para minimizar movimiento de suelo y pedazos de tallos-zanja, tapar tallos picados con podas de árboles.	
Señalización de puntos de las matas enfermas para reducir movimiento de personas encima de punto.	
Aumentar distancia de siembra en resiembras para reducir riesgo de propagación de la enfermedad.	

4. **Los que tienen mucha enfermedad > 1% de matas**

¿Si el terreno ya está contaminado?

Reduce la propagación de Marchitez por Fusarium. Aplicando lixiviados, controladores biológicos, materia orgánica y otras practicas	
Instalación de otro cultivo	
Cuarentena la finca	
Otras	

¿Hay algo diferente a hacer para reducir la propagación de Mal de Panamá?

Crea barreras con la finca vecina y las vías de acceso eliminando Gros Michel antes de que las matas se enfermen- reemplazar Gros Michel con otras variedades comerciales	
No vender o regalar semillas(hijuelos)	
No usar suelo contaminado o tallos enfermos para vivero de café, ni composteras	
Otras	

## A. Sistema de Producción

### Socioeconómico

Nombre del indicador	Punto crítico	concepto	parámetro	valor
Nivel educativo del productor	Bajo nivel educativo del productor	Productor con nivel de escolaridad	Productor con media o un estudio superior Productor con secundaria completa o inconclusa Productor con primaria completa Productor con primaria incompleta Productores analfabetos	5 4 3 2 1
Edad del productor	Alto promedio en la edad de los productores	Edad promedio del productor de banano	El promedio de edad esta entre 15 y 25 años El promedio de edad está entre 26 y 35 años El promedio de edad está entre 36 y 43 años El promedio de edad está entre 44 y 65 años El promedio de edad está entre 66 años o más	5 4 3 2 1
Calidad de vida del productor y sus familia	Baja accesibilidad a los servicios básicos	Accesibilidad de los productores a los servicios básicos	Accesibilidad a 5 servicios Accesibilidad a 4 servicios Accesibilidad a 3 servicios Accesibilidad a 2 servicios Accesibilidad a 1 servicios	5 4 3 2 1
Vías de comunicación terrestre	Mal estado de las vías de comunicación terrestre	Estado de las vías de comunicación terrestre a las finca	Excelente estado de las vías de comunicación Buen estado de las vías de comunicación Regular estado de las vías de comunicación Mal estado de las vías de comunicación Carencia de las vías de comunicación	5 4 3 2 1
Tradición del cultivo	Poca tradición de cultivo de banano	Tradición del cultivo de banano	Tradición de 40 años o más Tradición de 30 años a 39 Tradición de 20 a 29 años Tradición de 10 a 19 años Tradición de 9 años a menos	5 4 3 2 1

Capacitación - Uso de información existente.

## Ecológico

Indicador	Punto crítico	concepto	parámetro	valor
Biodiversidad	Perdida de la biodiversidad	Cantidad de diseño y/o estructura en la finca para promover la biodiversidad	Realiza 4 más diseños y/o estructuras Realiza 3 diseños y/o estructura Realiza 2 diseño y/o estructura Realiza 1 diseño y/o estructura No realiza ningún diseño y/o estructura	5 4 3 2 1
Recursos Naturales	Carencia prácticas para la conservación de los recursos	% Productores que realizan prácticas para conservación de Recursos naturales	Realizan 4 o más prácticas de conservación Realizan 3 prácticas de conservación RN Realizan 2 prácticas de conservación RN Realizan 1 practica de conservación RN No realizan prácticas de conservación RN	5 4 3 2 1
Conservación de suelos	Carencia de prácticas para la conservación de suelos	% de productores que realizan prácticas de conservación de suelos	Realizan 4 o más practicas Realizan 3 practicas Realizan 2 practicas Realizan 1 practica No realizan prácticas de conservación	5 4 3 2 1

## Referencia de los indicadores

indicador	Referencia
Calidad de vida de los productores y su familia	Educación Salud Agua potable Energía eléctrica Telefonía fija
Conservación de los recursos naturales	Protección de nacientes Uso de residuos del cultivo banano Uso de especies de coberturas Uso de barreras vivas Uso de abonos verdes
Conservación de suelos	Incorporación de materia orgánica Presencia de bosques nativos Tratamiento de residuos de cosecha Uso de cobertura Terrazas Cultivos instalados contra la pendiente
Biodiversidad	Sombra para el cultivo de banano Cultivo asociado con el cultivo de banano Barreras vivas Bosque nativo Usos de especies de cobertura



## Anexo 3. Indicadores para la evaluación de la salud del suelo

### Indicadores de Calidad y Salud de los Cultivos en Banano

Modificado de Altieri por Francisco Garro

**Cuadro 1:** Indicadores de calidad de suelo y salud de cultivos, características y valores correspondientes en banano.

Nota: colocar mínimo 0, el promedio resulta de los puntos evaluados que tengan números .

#### Calidad de suelo

##### 1. Estructura

Valor establecido	Característica	Valor en el campo de:											
1	Suelo polvoso, sin gránulos visibles												
5	Suelo suelto con pocos gránulos que se rompen al aplicar presión suave												
10	Suelo friable y granular, agregados mantienen formas después de aplicar presión suave, aun humedecidos												

##### 2. Profundidad del suelo

Valor establecido	Característica	Valor en el campo de:											
1	Subsuelo casi expuesto												
5	Suelo superficial delgado (menos de 10 cm.)												
10	Suelo superficial más profundo (mayor de 10 cm.)												

##### 3. Estado de residuos

Valor establecido	Característica	Valor en el campo de:											
1	Residuo orgánico presente que no se descompone o muy lentamente												
5	Aun persiste residuo del año pasado en vías de descomposición												
10	Residuos en varios estados de descomposición, pero residuos viejos bien descompuestos												

##### 4. Color, olor y materia orgánica

Valor establecido	Característica	Valor en el campo de:											
1	Suelo de color pálido, con olor malo o químico, y no se nota presencia de materia orgánica o humus												
5	Suelo de color café claro o rojizo, sin mayor olor y con algo de materia orgánica o humus												
10	Suelo de color negro o café oscuro, con olor a tierra fresca, se nota presencia abundante de materia orgánica y humus												

##### 5. Desarrollo de raíces

Valor establecido	Característica	Valor en el campo de:											
1	Raíces poco desarrolladas, enfermas y cortas												
5	Raíces de crecimiento algo limitado, se ven algunas raíces finas												
10	Raíces con buen crecimiento, saludables y profundas, con abundante presencia de raíces finas a 60 cm de la cepa												

##### 6. Cobertura del suelo

Valor establecido	Característica	Valor en el campo de:											
1	Suelo desnudo												
5	Menos del 50% del suelo cubierto por residuos, hojarasca o cubierta viva												
10	Más del 50% del suelo con cobertura viva o muerta												

### 7. Erosión

Valor establecido	Característica	Valor en el campo de:											
1	Erosión severa, se nota arrastre del suelo y presencia de cárcavas y canalillos												
5	Erosión evidente pero baja												
10	No hay mayores signos de erosión												

### 8. Actividad biológica

Valor establecido	Característica	Valor en el campo de:											
1	Sin signos de actividad biológica, no se ven lombrices o invertebrados (insectos, arañas ciempiés, etc)												
5	Se ven algunas lombrices y artrópodos												
10	Mucha actividad biológica, abundantes lombrices y artrópodos												

## Salud del cultivo

### 1. Apariencia

Valor establecido	Característica	Valor en el campo de:											
1	Follaje clorótico o descolorido con signos severos de deficiencia de nutrientes												
5	Follaje verde claro, con algunas decoloraciones												
10	Follaje color verde característico de la variedad, sin signos de deficiencia												

### 2. Crecimiento del cultivo

Valor establecido	Característica	Valor en el campo de:											
1	Cultivo de crecimiento pobre, pseudotallos delgados. Con, menos de 3 hojas (en plantas paridas).												
5	Mayor vigor del pseudotallo, con mas de 3 hojas (en plantas paridas).												
10	Cultivo vigoroso, con 6 o mas hojas, racimos bien desarrollados con 7 manos o mas.												

### 3. Incidencia de enfermedades

Valor establecido	Característica	Valor en el campo de:											
1	Hojas mas viejas con más del 50% del tejido necrosado.												
5	Hojas mas viejas con 25% o menos del tejido necrosado.												
10	Buen manejo de la enfermedad, menos del 20% de plantas con síntomas severos												

### 4. Competencia de malezas

Valor establecido	Característica	Valor en el campo de:											
1	Cultivos estresados dominados por malezas												
5	Presencia media de malezas, cultivo sufre algo de competencia												
10	Cultivo vigoroso, se sobrepone a malezas, o con rodaja alrededor de cada planta												

### 5. Diversidad vegetal

Valor establecido	Característica	Valor en el campo de:											
1	Monocultivo												
5	Asociado a otro cultivo												
10	Con más de 2 especies de cultivos o malezas dominantes												

6. Diversidad natural circundante

Valor establecido	Característica	Valor en el campo de:													
1	Rodeado por otros cultivos, campos baldíos o carretera														
5	Rodeado al menos en un lado por vegetación natural														
10	Rodeado al menos en un 50% de sus bordes por vegetación natural														

7. Sistema de manejo

Valor establecido	Característica	Valor en el campo de:													
1	Monocultivo convencional, manejado por agroquímicos														
5	En transición a orgánico, con sustitución de insumos														
10	Orgánico diversificado, con poco uso de insumos orgánicos o biológicos														

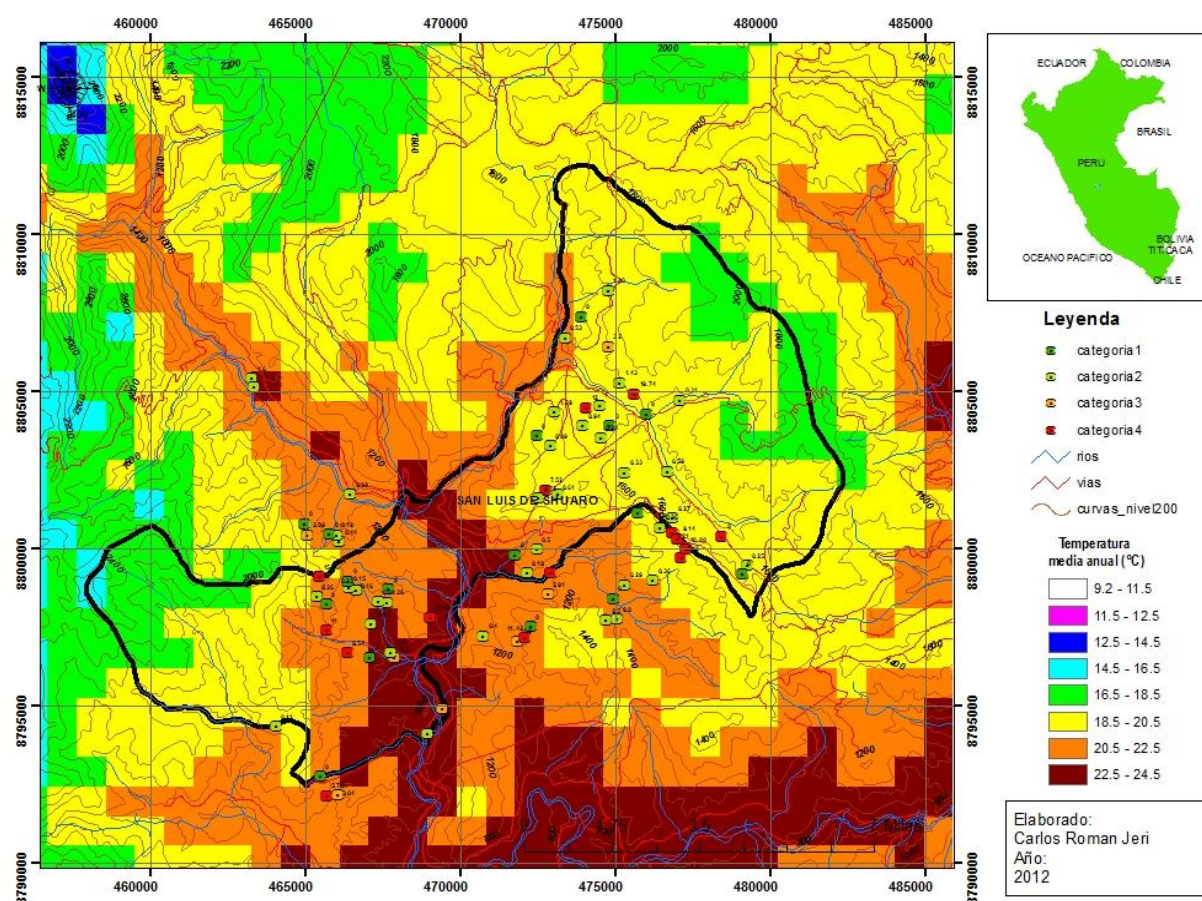
8. Manejo del racimo en la planta

Valor establecido	Característica	Valor en el campo de:													
1	Racimo con chirra y capote														
5	Racimo sin chirra, desflorado o sin capote														
10	Racimo sin chirra, eliminada la primera mano o desflorado y embolsado, o sin capote														

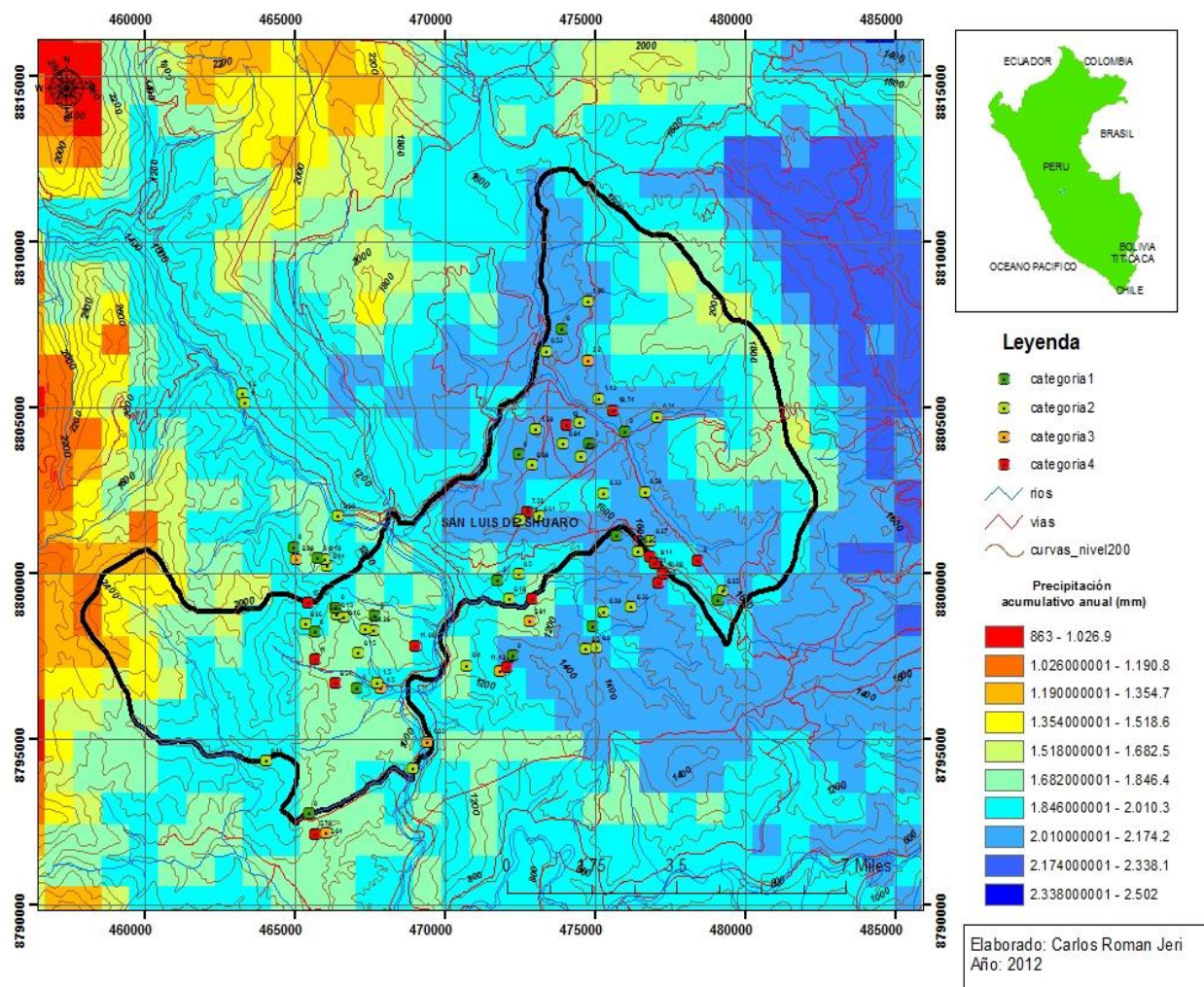
9. Manejo de la cepa

Valor establecido	Característica	Valor en el campo de:													
1	Muchos hijos														
5	Deshija mal orientada														
10	Sucesión Madre, Hijo, Nieto, con buena orientación en la plantación														

Anexo 4. Mapa de San Luís de Shuaro con sus variaciones climáticas de Temperatura ( $T^{\circ}$ ) a colores en una resoluciones espaciales  $\geq 1$  km. Información obtenida a través del Wordclim (datos del clima mundial <http://www.worldclim.org/tiles.php?Zone=23>), Distribución de la presencia de la enfermedad



Anexo 5. Mapa de San Luís de Shuaro, con sus variaciones climáticas de precipitación (pp) a colores en una resoluciones espaciales  $\geq 1$  km. Información obtenida a través del Wordclim (datos del clima mundial <http://www.worldclim.org/tiles.php?Zone=23>) entre las categorías de incidencia de Marchitez por Fusarium.



Anexo 6. Análisis de varianza multivariada de los conglomerados realizado con la prueba de comparación de Hotelling ( $p \leq 0,05$ )

F.V.	Estadístico																F	gl(num)	gl(den)	p
Conglomerado	10,15																40,60	15	60	0,0001
Conglomerado	Estr_S	Prof_S	Esta_Res	C_O_Mat_Org	Des_Rai	Cob_S	Erosi_on	Act_Bi	Apar	Crec_Cult	Inc_Enf	Comp_Male	Diver_Veget	Diver_Nat_Ci	Sis_te_Ma	n				
1	8,4	8,7	6,8	6,2	7,1	8,0	6,7	6,5	6,4	7,2	6,0	8,6	7,75	5,8	5,1	36	A			
3	7,4	8,2	2,6	4,3	4,5	4,6	5,1	4,3	4,0	5,0	3,8	5,0	4,38	1,3	3,8	26	B			
2	9,8	9,8	7,2	7,2	9,2	8,6	8,4	7,6	8,2	9,8	10,0	9,6	8,2	8,2	5,2	5	C			
4	9,1	9,6	8,3	7,8	8,7	8,4	7,4	8,0	8,3	8,7	8,4	9,7	6,7	8,5	6,6	9	C			

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ )